



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



**INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL**  
**Mecánica**  
**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**Diseño de una planta de peletización  
en Castilla y León**

**AUTOR: Guillermo González Yánquez**  
**TUTOR: Berta Herrero Ayestaran**  
**DEPARTAMENTO: Ciencia e Ingeniería de Materiales**  
**e Ingeniería química**  
**ABRIL 2012**



Índice de contenidos.

<b>1. OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Las energías renovables (EERR).....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 La biomasa.....</b>	<b>10</b>
<b>3. LA MATERIA PRIMA.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. La madera en España</b>	
<b>Datos y estadísticas.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. Empresas de madera y aserraderos en España.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3. Características de la madera.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.1. Madera a usar en la planta pelets.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.2. La humedad y el secado de la madera.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4. La madera como biocombustible.....</b>	<b>35</b>
<b>4. Producción, comercialización y uso de pelets.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1. Introducción.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2. Comparación pelet vs. gasóleo.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3. Comercialización, producción y uso de los pelets.....</b>	<b>45</b>
<b>4.4. Uso de los pelets.....</b>	<b>47</b>
<b>4.5. Pelets en la actualidad</b>	
<b>Evolución y consumo.....</b>	<b>49</b>
<b>4.6. El proceso de peletización.....</b>	<b>52</b>
<b>4.7. Calidad y certificación del pelet.....</b>	<b>62</b>
<b>5. EQUIPOS INDUSTRIALES.....</b>	<b>67</b>
<b>5.1. Introducción.....</b>	<b>67</b>
<b>5.2. Equipos de proceso.....</b>	<b>68</b>
<b>6. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE PELETIZACIÓN.....</b>	<b>92</b>
<b>6.1. Dimensionamiento de la materia prima.....</b>	<b>92</b>
<b>6.2. Dimensionamiento de los equipos principales.....</b>	<b>95</b>
<b>6.3. Dimensionamiento de equipos auxiliares.....</b>	<b>105</b>
<b>6.4. Tabla de potencias.....</b>	<b>109</b>
<b>6.5. Personal y producción.....</b>	<b>109</b>
<b>6.5.1. Introducción.....</b>	<b>109</b>
<b>6.5.2. Turnos y vacaciones.....</b>	<b>110</b>
<b>6.5.3. Producción.....</b>	<b>111</b>
<b>6.5.4. Personal en función de la producción.....</b>	<b>112</b>
<b>7. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA PLANTA.....</b>	<b>113</b>
<b>7.1. Introducción.....</b>	<b>113</b>
<b>7.2. Inversión inicial.....</b>	<b>113</b>
<b>7.3. Análisis de ingresos y gastos.....</b>	<b>118</b>
<b>7.3.1. Gastos asociados a personal.....</b>	<b>118</b>
<b>7.3.2. Gastos de electricidad de maquinaria.....</b>	<b>120</b>
<b>7.3.4. Gastos de conservación y mantenimiento anual.....</b>	<b>120</b>
<b>7.3.5 Gastos varios.....</b>	<b>121</b>
<b>7.3.6. Ingresos.....</b>	<b>123</b>
<b>7.4. Análisis del flujo de caja anual (Cash-flow), del V.A.N. y del T.I.R.....</b>	<b>125</b>
<b>7.5. Resumen económico.....</b>	<b>129</b>
<b>8. Conclusión y trabajos futuros.....</b>	<b>130</b>
<b>9. Bibliografía.....</b>	<b>131</b>



<b>9.1. Libros consultados:</b>	131
<b>9.2. Recursos electrónicos:</b>	131
<b>9.3. Revistas consultadas:</b>	132
<b>9.4. Empresas consultadas:</b>	132

### Índice de Figuras.

Figura 2.1	10
Figura 3.1	31
Figura 3.2	32
Figura 3.3	32
Figura 4.1	43
Figura 4.10	58
Figura 4.11	60
Figura 4.2	45
Figura 4.3	46
Figura 4.4	46
Figura 4.5	47
Figura 4.6	48
Figura 4.7	53
Figura 4.8	54
Figura 4.9	57
Figura 5.1	70
Figura 5.10	78
Figura 5.11	80
Figura 5.12	81
Figura 5.13	81
Figura 5.14	82
Figura 5.15	82
Figura 5.16	82
Figura 5.17	83
Figura 5.18	84
Figura 5.19	84
Figura 5.2	72
Figura 5.20	85
Figura 5.21	86
Figura 5.22	87
Figura 5.23	89
Figura 5.24	91
Figura 5.3	73
Figura 5.4	73
Figura 5.5	74
Figura 5.6	75
Figura 5.7	76
Figura 5.8	76
Figura 5.9	77
Figura 6.1	98
Figura 6.2	997



Figura 6.3.....	104
Figura 6.4.....	104

Índice de Gráficos.

Gráfico 3.1.....	18
Gráfico 3.2.....	25
Gráfico 3.3.....	26
Gráfico 4.1.....	50

Índice de Tablas.

Tabla 2.1.....	8
Tabla 2.2.....	8
Tabla 3.1.....	16
Tabla 3.10.....	37
Tabla 3.11.....	37
Tabla 3.12.....	38
Tabla 3.2.....	17
Tabla 3.4.....	19
Tabla 3.5.....	20
Tabla 3.6.....	21
Tabla 3.7.....	22
Tabla 3.8.....	29
Tabla 3.9.....	37
Tabla 4.1.....	65
Tabla 4.2.....	66
Tabla 6.1.....	94
Tabla 6.10.....	109
Tabla 6.2.....	96
Tabla 6.3.....	98
Tabla 6.4.....	100
Tabla 6.5.....	100
Tabla 6.6.....	101
Tabla 6.7.....	103
Tabla 6.8.....	103
Tabla 6.9.....	105
Tabla 7.1.....	116
Tabla 7.2.....	119
Tabla 7.3.....	123
Tabla 7.4.....	124
Tabla 7.5.....	125
Tabla 7.6.....	126
Tabla 7.7.....	127
Tabla 7.8.....	128



## 1. OBJETIVOS.

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de una planta de peletización en la Comunidad de Castilla y León.

Dicha planta habrá de aprovechar los residuos o subproductos, como astillas, serrín y virutas generados por la industria de la madera de primera transformación, con los que se pueda fabricar combustible de biomasa densificada (pelet).

Para ello será necesario conocer y calcular la cantidad necesaria de subproducto de partida, con sus parámetros fundamentales como son tamaño y humedad definidos.

El pelet se utilizará como biocombustible para uso doméstico en calderas, ya sea para calentar agua caliente, o para calentar una corriente de aire con la que poder acondicionar habitaciones y recintos, para ello el pelet deberá cumplir con la normativa Europea EN 14961-2, donde se definen los parámetros y calidades del pelet para uso no industrial.

El presente proyecto ha de definir:

- La biomasa como fuente de energía, así como sus diferentes orígenes y usos.
- La situación actual de la madera en España, el tipo de madera que se utilizará en la producción de los pelets, así como sus características técnicas y los diferentes procesos de secado.
- El proceso de fabricación de los pelets, el tipo de comercialización del pelet así como su situación y evolución.
- Los diferentes equipos y fabricantes que hacen posible el proceso de fabricación, seleccionando el más adecuado en función de las características y de la calidad esperada.
- El flujo y cantidad de materia prima, desde que se obtiene de la industria maderera hasta su transformación final en pelets, definiendo sus dimensiones y humedad en las diferentes etapas del proceso.
- La inversión necesaria para poder iniciar la actividad, así como los gastos y beneficios asociados al proceso de fabricación, analizándose diferentes posibilidades.

## 2. INTRODUCCIÓN.

### 2.1. Las energías renovables (EERR).

La asociación española de la industria eléctrica (UNESA) define las energías renovables como aquellas que utilizan recursos no agotables temporalmente, al menos a escala humana. En general, se consideran energías renovables aquellas fuentes de energía que utilizan cualquier recurso natural de origen no fósil ni nuclear.

Este tipo de energía además de considerarse inagotable, es más respetuosa con el medioambiente, a diferencia del petróleo y el carbón, y limita la emisión de gases de efecto invernadero posibilitando el cumplimiento en mayor medida del Protocolo de Kioto. Otra razón o interés en el fomento de este tipo de energías es de carácter social y económico, como pueden ser la fijación de población en áreas rurales, la creación de puestos de trabajo y el desarrollo tecnológico de equipos e industria.

Las energías renovables, son energías, que hasta finales de los 90, no se empezó a ver su potencial así como su necesidad. La creciente demanda energética de los países desarrollados, unido al aumento de la población, ha hecho saltar las alarmas en el ámbito energético, pues los combustibles fósiles, que dominan el consumo actual de energía, se está agotando. Sin embargo no es su agotamiento lo que más ha incentivado el fomento de las energías renovables, si no el aumento del precio de los combustibles fósiles, los vaivenes en el precio de dichos combustibles y las repercusiones que esto tiene para los países no productores de este tipo de combustibles. España intenta incentivar el uso y desarrollo de las energías limpias mediante leyes y subvenciones.

La situación y aporte de las energías renovables en España está definido en el actual plan de energías renovables (PER) 2011-2020, el cual no solo nos da información en cuanto al aporte de las energías renovables, sino que establece unos mínimos fijados por la Unión Europea.

- Plan de energías renovables 2011-2020<sup>1</sup>:

Agotado el período de vigencia del anterior plan de energías renovables (2005-2010), el Gobierno de España ha elaborado un nuevo Plan para el periodo 2011-2020, y que ha publica el Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE).

El nuevo plan, vista la evolución de las energías renovables en los últimos años, pretende fomentar el uso de energía procedente de fuentes renovables, la cual establece unos objetivos mínimos obligatorios para el conjunto de la Unión Europea y para cada uno de los Estados miembros. Concretamente, la Directiva establece como objetivo conseguir una cuota mínima del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía de la Unión Europea (PER 2011-2020 publicado por IDAE). Ese mismo porcentaje mínimo es el mismo objetivo establecido para España, así como una cuota mínima del 10% de energía procedente de fuentes

---

<sup>1</sup>Resumen del PER 2011-2020.  
Publicado por IDAE.



renovables en el consumo de energía en el sector del transporte en cada Estado miembro para el año 2020.

Sin embargo, vista la evolución de las energías renovables en el anterior plan de energías renovables, España espera que la aportación de las mismas al consumo final bruto de energía en España sea, para el año 2020, de un 22,7%, esto es, casi 3 puntos por encima del objetivo obligatorio fijado por la Unión Europea.

Del mismo modo se prevé que la aportación de las renovables a la producción de energía eléctrica alcance el 42,3% en 2020, con lo que España también superaría el objetivo fijado por la Unión Europea en este ámbito, establecido en el 40%.

A falta de datos relativos al nuevo plan de energías renovables, tomemos como referencia el plan anterior (2005-2010), el cual dio como resultado de la política de apoyo a las energías renovables, en el marco del Plan de Energías Renovables 2005-2010, un crecimiento notable de éstas durante los últimos años, y así, en términos de consumo de energía primaria, se ha pasado de cubrir una cuota del 6,3% en 2004 a alcanzar el 11,3% en 2010. Este porcentaje correspondiente al año 2010 se eleva al 13,2% si se calcula la contribución de las energías renovables sobre el consumo final bruto de energía.

En cuanto al papel de las renovables en la generación eléctrica, su contribución al consumo final bruto de electricidad ha pasado del 18,5% en 2004 al 29,2% en 2010. Estos datos corresponden a un año normalizado, pues los datos reales indican un crecimiento desde el 17,9% en 2004 hasta el 33,3% en 2010.

Esta evolución de las renovables, permite a España mirar al 2020 con perspectivas superiores a las mínimas establecidas por la Unión Europea.

Por último, las renovables en el transporte han dado durante estos últimos años un gran salto adelante, sobre la base de los incentivos al consumo de biocarburantes en ese sector.

De este modo, el favorable tratamiento fiscal y la obligación de uso han llevado a un crecimiento constante del consumo de biocarburantes (calculado en contenido energético) sobre el consumo de gasolina y gasóleo (metodología definida en el PER 2005-2010), que han pasado de representar el 0,39% en 2004 al 4,99% en 2010.

Las siguientes tablas publicadas en el PER 2011-2020, nos muestran la evolución de los diferentes tipos de energía a lo largo del anterior plan, así como la evolución esperada de las mismas.

Ktep	2005	2010	2015	2020
Carbón	21.183	8.271	10.548	1058
Petróleo	71.765	62.385	56.606	51.980
Gas natural	29.116	31.003	36.660	39.237
Nuclear	14.995	16.102	14.490	14.490
Energías renovables	8.371	14.910	20.593	27.878
Total energía primaria total.	145.314	131.927	137.390	142.611

**Tabla 2.1. Consumo de energía primaria. Fuente: IDAE. Resumen plan de energías renovables 2011-2020.**

Ktep	2005	2010	2015	2020
Carbón	2.424	1.693	2.175	2.146
Productos petrolíferos	54.376	48.371	43.882	29.253
Gas natural	17.145	16.573	17.960	18.800
Electricidad	20.836	21.410	23.717	27.085
Energías renovables	3.678	5.375	6.675	8.070
Total uso energéticos	98.458	93.423	94.408	95.355
Usos no energéticos:	7.842	6.416	6.865	6.865
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productos petrolíferos.</li> <li>• Gas natural</li> </ul>	7.362	5.941	6.415	6.415
	480	475	450	450
Total usos finales	106.300	99.838	101.273	102.220

**Tabla 2.2. Consumo de energía final. Fuente: IDAE. Resumen plan energías renovables 2011-2020.**

A pesar del continuo dominio de los combustibles fósiles, así como la dependencia de los mismos, el nuevo plan de energías renovables hace una apuesta fuerte por la energía limpia, y considera una serie de propuestas, tanto jurídicas, como económicas y técnicas para fomentar y mejorar el uso de las energías renovables. Dichas propuestas se pueden consultar en la publicación del “Plan de energías renovables 2011-2020” en el capítulo 6, mediante el siguiente link:

[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_Resumen\\_PER\\_2011-2020\\_15f3dad6.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Resumen_PER_2011-2020_15f3dad6.pdf)





Dentro de dichas propuestas, podríamos destacar las siguientes:

- Sistema de Incentivos al Calor Renovable (ICAREN) para aplicaciones térmicas de las energías renovables.

Se trata de un apoyo directo a la producción, ha de existir un productor que realice una actividad económica consistente en transmitir la energía a un consumidor.

Cualquier actividad de suministro de energía térmica renovable, a usuarios finales, para cualquier aplicación y a través de cualquier fluido, podrá acogerse al sistema, variando el incentivo según la fuente renovable.

- Programas de ayudas públicas a la inversión de energías renovables térmicas mediante convenios con las CCAA.

Estas ayudas se estiman en un total de 180 millones de euros entre el 2011-2020.

- Inclusión de las EERR térmicas y las redes de climatización en los sistemas de certificación energética de edificios.

En el Plan de Energías Renovables 2011-2020, también se puede observar las toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas mediante el uso de energías renovables, así como los puestos de empleo, directos e indirectos, que dichas energías crearían.

Basándonos en datos recientes y reales, el IDAE con datos cerrados el 30 de septiembre del 2011, nos indica:

- Total de emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas, mediante el uso de energías renovables, tanto para generación de electricidad, calefacción y refrigeración y transporte, fue de 46.325.868 toneladas en 2009, y de 50.642.468 toneladas en 2010, con una variación entre ambos años del 9,3%.
- En el aspecto socioeconómico, el número de puestos de trabajo, directos e indirectos, creados por las energías renovables en el 2010, fue de 148.394.

El resto de datos y gráficas de esta última publicación realizada por el IDAE pueden consultarse en el siguiente link:

[http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_Resumen\\_PER\\_2011-2020\\_15f3dad6.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Resumen_PER_2011-2020_15f3dad6.pdf)

## 2.2. La biomasa.

La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) catalogan la “biomasa” como “todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización”. Entre estos últimos estarían el carbón, el petróleo y el gas, cuya formación y composición hace miles de años no es comparable con lo que llamamos “el balance neutro de la biomasa” en las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

La combustión de biomasa no contribuye al aumento del efecto invernadero porque el carbono que se libera forma parte de la atmósfera actual (es el que absorben y liberan continuamente las plantas durante su crecimiento) y no del subsuelo, capturado en épocas remotas, precisamente como el gas o el petróleo.

La energía que contiene la biomasa es energía solar almacenada a través de la fotosíntesis, proceso por el cual algunos organismos vivos, como las plantas, utilizan la energía solar para convertir los compuestos inorgánicos que asimilan (como el  $\text{CO}_2$ ) en compuestos orgánicos.

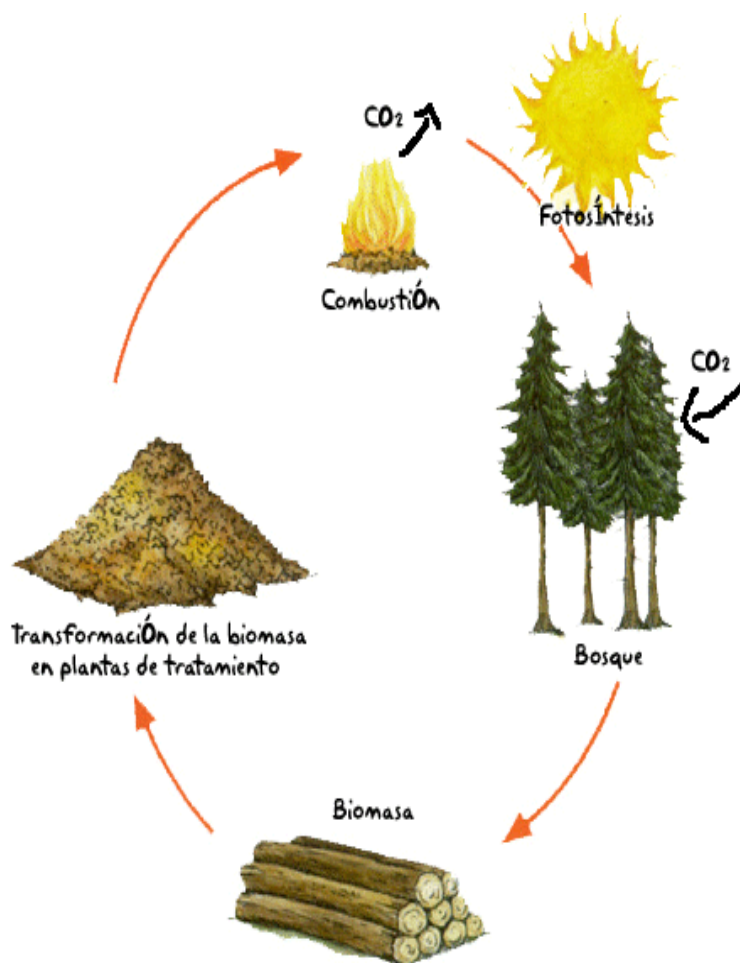


Figura 2.1: Ciclo neutro del  $\text{CO}_2$  en la combustión de la biomasa. Fuente: Fundación Sustrai Erakuntza.



Entre las energías renovables destaca el uso de productos obtenidos a partir de materia orgánica para producir energía, es decir, biomasa, que abarca un gran grupo de materiales de diversos orígenes y con características muy diferentes.

Clasificación de la biomasa según su origen:

- Forestal.

Sector productor de biomasa generada en los tratamientos y aprovechamientos de las masas vegetales. Vinculado directamente con el sector forestal y sus actividades en los montes.

- Agrícolas.

Sector productor de biomasa generada en las labores de cultivos agrícolas, leñosos y herbáceos, tanto en las labores de poda de árboles como en la cosecha y actividades de recogida de productos finales. Vinculado directamente con el sector agrícola y sus actividades.

- Industrial forestal y agrícola.

Sector productor de biomasa a partir de los productos, subproductos y residuos generados en las actividades industriales forestales y agrícolas.

También consideraremos la biomasa de parte de la madera recuperada.

- Cultivos energéticos.

Sector productor de biomasa a partir de cultivos y/o aprovechamientos de especies vegetales destinadas específicamente a la producción para uso energético.

Vinculado tanto con el sector forestal como agrícola.

Clasificación de la biomasa según su aplicación:

- Biomasa térmica.

Se utiliza en tecnologías dedicadas al suministro de calor para calefacción, producción de agua caliente sanitaria (ACS), y procesos industriales.

Se puede dividir en aplicaciones para edificios y aplicaciones industriales.

Los tipos de biomasa mas comunes en los usos térmicos proceden de las industrias agrícolas (huesos de aceitunas y cáscaras de frutos secos), de las industrias forestales (astillas, virutas, serrín etc.) y de las actividades silvícolas y de cultivos leñosos (podas, leñas etc.).



Estos materiales se pueden transformar en pelets y briquetas, astillas compactadas etc.

- Biomasa eléctrica.

Se utiliza para la generación de energía eléctrica, tanto de forma exclusiva, como mediante sistemas de cogeneración (capacidad de obtener simultáneamente energía eléctrica y térmica) o sistemas de co-combustión (combustión conjunta de 2 combustibles, generalmente un combustible fósil junto con biomasa).

En la actualidad, la subida de precios de los combustibles, la inestabilidad que da depender de las fluctuaciones de los precios de los combustibles fósiles, así como la necesidad de autosuficiencia energética y los objetivos medioambientales (cada vez más necesarios) han impulsado el desarrollo de nuevos proyectos de generación de energía eléctrica y de producción de energía térmica.

Esto, unido al desarrollo tecnológico de la biomasa en los últimos años, presenta unas perspectivas de crecimiento importante de la biomasa en España.

El uso térmico de la biomasa se ha visto favorecido durante estos últimos años debido al desarrollo de normativa en el sector edificios. La inclusión de las instalaciones de biomasa en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y la aparición de la biomasa como tecnología que posibilite obtener una calificación energética A en edificios, ha supuesto un empuje considerable en el sector de la biomasa.

El creciente interés que tiene la población, cada vez mas concienciada ecológicamente, en la biomasa térmica doméstica, como medio para climatizar viviendas mediante el uso de calderas de biomasa, ha promovido un gran número de plantas de producción de pelets, de forma que en los últimos tres años, la capacidad de producción se ha visto multiplicada por diez, pasando de 60.000 T/año a 600.000 T/año, tal y como informa el PER 2011-2020 en el capítulo cuatro de dicho informe.

El crecimiento en plantas de pelets ha sido, según la publicación del PER 2011-2020, espectacular, a pesar de que la crisis financiera y la bajada de los precios de los combustibles fósiles experimentada entre 2008-2009 restó parte de la rentabilidad de estas instalaciones.

El uso de la biomasa como recurso energético, en lugar de los combustibles fósiles, supone unas ventajas medioambientales, como son:

- Disminución de las emisiones de azufre y de partículas.
- Emisiones reducidas de contaminantes como CO, HC y NOX.
- Ciclo neutro de CO<sub>2</sub>, sin contribución al efecto invernadero.



Reducción del mantenimiento y de los peligros derivados del escape de gases tóxicos y combustibles en las casas.

- Aprovechamiento de residuos agrícolas, evitando su quema en el terreno.
- Posibilidad de utilización de tierras de barbecho con cultivos energéticos.
- Independencia de las fluctuaciones de los precios de los combustibles provenientes del exterior (no son combustibles importados).
- Mejora socioeconómica de las áreas rurales.

Estas ventajas convierten a la biomasa en una de las fuentes potenciales de empleo en el futuro, siendo un elemento de gran importancia para el equilibrio territorial, en especial en las zonas rurales.

Con la biomasa, el PER 2011-2020, pretende:

- Evitar el vertido de 10.587.673 toneladas de CO<sub>2</sub> en la generación de electricidad.
- Evitar el vertido de 11.280.173 toneladas de CO<sub>2</sub> en calefacción/refrigeración.
- Pasar de un aporte al PIB (en millones de euros) de 48,9 en el 2009 a 87,5 en lo que se refiere a biomasa térmica.
- Tener un nivel de empleo de 42.017 puestos de trabajo en 2020 en lo que se refiere a biomasa térmica.
- Tener un nivel de empleo de 49.335 puestos de trabajo en 2020 en lo que se refiere a biomasa para generación de electricidad.

En el 2010 el numero de puestos de trabajo asociados a la biomasa térmica era de 111, los empleos asociados a la biomasa para generación de electricidad eran de 1.345, por lo que la biomasa aportará una cantidad importante de trabajo en los próximos años.

El uso térmico de la biomasa se ha visto favorecido gracias al desarrollo normativo del sector edificios. La inclusión de las instalaciones de biomasa en el RITE y la calificación energética A en edificios con biomasa impulsan el sector, tal y como muestra el siguiente gráfico elaborado por el IDAE en el apartado de “Biomasa en el PER 2011-2020” y cuyas unidades están en Ktep.

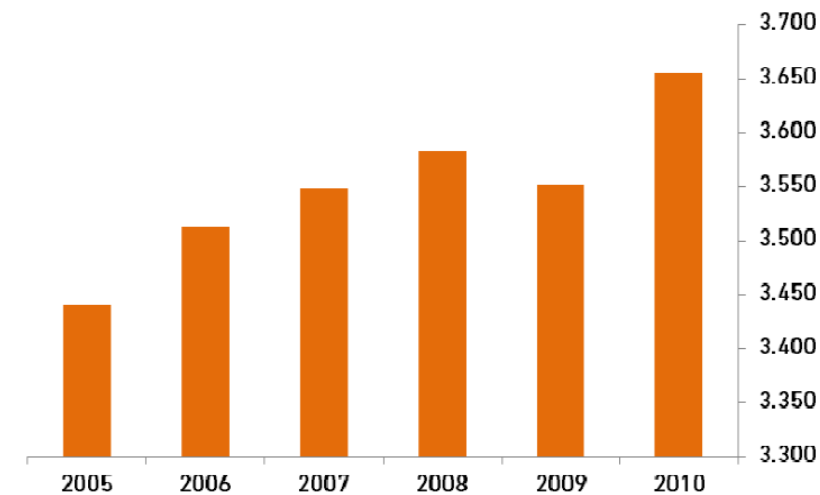


Gráfico 2.1. Evolución de la energía consumida en aplicaciones térmicas con Biomasa.  
Fuente: IDAE PER 2011-2020.

El mismo documento nos proporciona datos sobre el potencial de biomasa en España, como indica la siguiente tabla:

Biomasa potencial disponible (t/año) y Coste medio de obtención				
Procedencia		Biomasa (t/año)	Biomasa (tep/año)	Coste medio (€/t)
Masas forestales existentes	Restos de aprovechamientos madereros	2.984.243	636.273	27
	Aprovechamiento del árbol completo	15.731.116	3.414.158	43
Restos agrícolas	Herbáceos	14.434.566	6.392.631	20
	Leñosos	16.118.220		
Masas herbáceas susceptibles de implantación en terreno agrícola		17.737.868	3.593.148	46
Masas leñosas susceptibles de implantación en terreno agrícola		6.598.861	1.468.173	35
Masas leñosas susceptibles de implantación en terreno forestal		15.072.320	1.782.467	42
<b>TOTAL BIOMASA POTENCIAL EN ESPAÑA</b>		<b>88.677.193</b>	<b>17.286.851</b>	

Tabla 2.4. Potencial de la biomasa en España. Fuente: IDAE PER 2011-2020.

El empleo energético de la biomasa forestal residual tiene una serie de desventajas con respecto a otros combustibles como son su baja densidad y dificultad de manejo, ya que mientras un combustible fluido es fácil de transportar y de manejar, un tronco de leña, por ejemplo, no es susceptible de ser aprovechado en una caldera, y su uso se reduce a sistemas tradicionales, como las chimeneas.

Una de las posibilidades que se plantean para evitar este tipo de problemas es la densificación de la biomasa es decir, su compactación para la obtención de productos combustibles densificados con un alto poder calorífico, y que sean homogéneos tanto en propiedades como en dimensiones.

Esto permitiría el uso de dicho combustible densificado en sistemas eficientes de calefacción, mediante la automatización de los sistemas de alimentación y control de la combustión, además de permitir de unos gastos menores de transporte y almacenamiento.

La densificación de la biomasa se utilizaba principalmente para la elaboración de piensos para animales, sin embargo desde hace unas décadas, el mismo proceso de compactación se empezó a utilizar en la madera, para la producción fundamentalmente de pelets y briquetas.

La densificación de la madera es un proceso de compactación o compresión de la biomasa residual, como pueden ser virutas, astillas, serrín etc. permitiendo así, aumentar la densidad del material de partida, y consiguiendo un combustible más eficiente y sobre todo de fácil almacenamiento.

Otra ventaja del proceso de compactación de los restos de la industria maderera, es la capacidad de almacenar cantidades importantes de combustible, en un espacio mucho más reducido, facilitando operaciones como envase, transporte, mantenimiento etc. y además posibilitando que se mantenga seca.

La densidad del producto final (pelets o briquetas) depende fundamentalmente de:

- La materia prima empleada:

Cuanto mayor sea la densidad de la materia prima, mayor será la densidad del producto final.

- La presión ejercida durante el proceso de compactación por la prensa.

En el capítulo relativo a la madera, capítulo III, se explicará con más detalle los conceptos de densidad según la especie de madera, así como los poderes caloríficos de la madera.

### 3. LA MATERIA PRIMA.

#### 3.1. La madera en España: Datos y estadísticas.

- La masa forestal en España.

El volumen de madera en España ha evolucionado mucho entre 1975 y el 2009, tal y como expone en su informe del 2010 sobre “Situación de los Bosques y del Sector Forestal en España” publicado por la Sociedad española de Ciencias Forestales (SECF).

CC.AA.	VCC (Mil m³)			Ratio variación (%)
	1975	1996	2009	1975-2009
Andalucía*	30.252	40.794	69.123	128,5
Aragón	32.546	44.626	74.338	128,4
Asturias	27.280	32.577	47.301	73,4
Baleares	3.815	5.451	7.525	97,3
Canarias	8.370	9.453	13.544	61,8
Cantabria	13.428	19.309	25.207	87,7
Castilla y León	76.123	85.557	153.772	102,0
Castilla La Mancha	49.900	49.524	83.734	67,8
Cataluña	52.726	80.041	118.157	124,1
Extremadura	12.600	19.061	33.256	163,9
Galicia	70.799	90.398	133.093	88,0
La Rioja	5.486	9.570	15.517	182,8
Madrid	5.215	6.799	10.895	108,9
Murcia	2.016	3.144	6.920	243,2
Navarra	29.062	45.349	54.651	88,0
País Vasco	28.713	41.586	54.817	90,9
Comunidad Valenciana	8.388	10.946	20.065	139,2
<b>TOTAL</b>	<b>456.721</b>	<b>594.186</b>	<b>921.913</b>	<b>101,9</b>

Tabla 3.1. Evolución del volumen de madera por CCAA. Fuente: SECF.

La comunidad autónoma con mayor superficie forestal es Castilla y León, tanto en superficie arbolada como desarbolada, mientras, en términos de superficie arbolada, destacan Cataluña y el País vasco.



La siguiente tabla, a si como el siguiente gráfico han sido obtenida del informe del 2010 sobre “Situación de los Bosques y del Sector Forestal en España” publicado por la Sociedad española de Ciencias Forestales (SECF).

Comunidad Autónoma	Población	Sup. Total (1.000 ha)	Sup. Forestal (1.000 ha)	Sup. Arbolada (1.000 ha)	Sup. Desarbolada (1.000 ha)	% Forestal	% Arbolada	S. Arb per cápita
Andalucía	8.150.467	8.760	4.394	2.656	1.738	50%	30%	0,33
Aragón	1.313.735	4.772	2.608	1.578	1.030	55%	33%	1,20
Asturias	1.058.923	1.060	765	451	313	72%	43%	0,43
Baleares	1.070.066	499	224	186	37	45%	37%	0,17
Canarias	2.076.585	745	564	134	430	<b>76%</b>	18%	0,06
Cantabria	576.418	532	359	214	145	68%	40%	0,37
Castilla y León	2.510.545	9.423	<b>4.808</b>	<b>2.982</b>	<b>1.825</b>	51%	32%	1,19
Castilla -La Mancha	2.022.647	7.946	3.565	2.740	825	45%	34%	1,35
Cataluña	7.290.292	3.211	1.930	1.626	304	60%	51%	0,22
Extremadura	1.080.439	4.164	2.727	1.921	806	66%	46%	<b>1,78</b>
Galicia	2.738.930	2.957	2.040	1.405	634	69%	48%	0,51
La Rioja	315.718	505	301	170	132	60%	34%	0,54
Madrid	6.295.011	803	420	270	150	52%	34%	0,04
Murcia	1.443.383	1.131	486	316	170	43%	28%	0,22
Navarra	614.526	1.039	587	463	124	56%	45%	0,75
País Vasco	2.136.061	724	495	398	97	68%	<b>55%</b>	0,19
C. Valenciana	4.991.789	2.326	1.255	754	501	54%	32%	0,15
<b>Total</b>	<b>45.685.535</b>	<b>50.596</b>	<b>27.528</b>	<b>18.265</b>	<b>9.263</b>	<b>54%</b>	<b>36%</b>	<b>0,40</b>

**Tabla 3.2. Superficie Forestal arbolada y desarbolada por CCAA. Fuente: SECF**

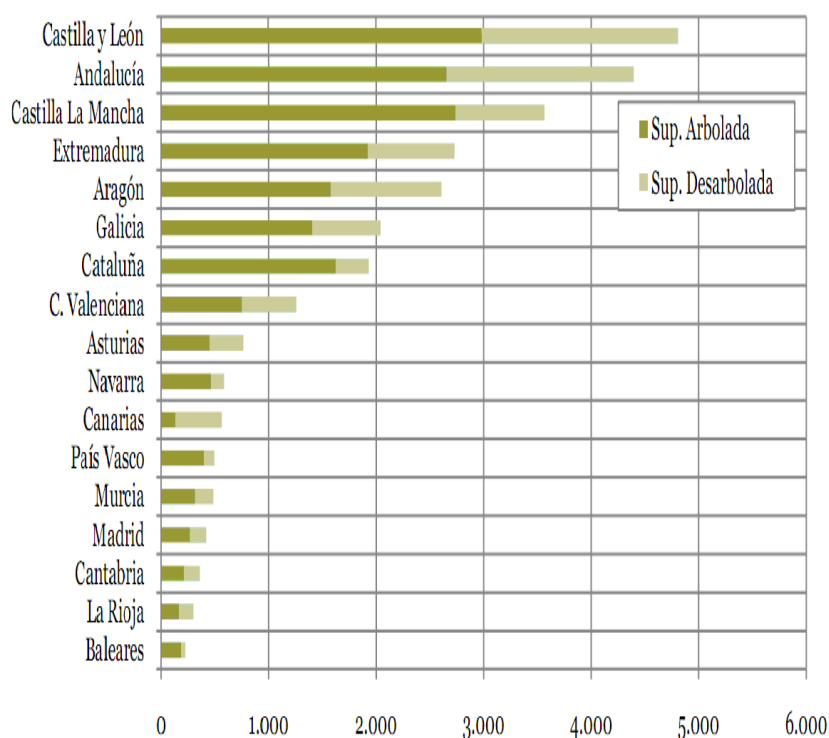


Gráfico 3.1. Superficie forestal por Comunidad autónoma. Fuente: SECF.

### 3.2. Empresas de madera y aserraderos en España.

- La industria de la madera, sector del que excluimos el mueble, incluye los siguientes subsectores:
  - Madera sin elaborar.
  - Industria de primera transformación que origina productos semielaborados (tableros, chapas, listones, etc.).
  - Industria de segunda transformación generadora de productos finales (ventanas, suelos, tarimas, industria auxiliar del mueble, marcos, envases y embalajes, carpinterías etc.).

- AEIM (Asociación Española de Importadores de Madera), y CONFEMADERA (Confederación Española de empresarios de la madera) nos proporcionan datos relativos a las empresas que trabajan con madera, y que se muestran en la siguiente tabla.

Años	Importe neto cifra de negocio (miles de euros)
2002	1.147.526
2003	1.155.988
2004	1.259.735
2005	1.170.676
2006	1.203.289
2007	1.274.257
2008	1.063.164
2009	785.009

**Tabla 3.3. Datos económicos del sector del aserrío** Fuente: AEIM.

- En cuanto a comercio exterior la madera aserrada sigue siendo el producto de madera con más peso en la balanza de importaciones del sector

Producto	Import. 2009 (millones €)
Madera aserrada o desbastada	297,4
Tableros de fibra	170,8
Obras y piezas de carpintería para construcción	160,4
Madera en bruto	94,7
Hojas para chapado y contrachapado	83,1
Las demás manufacturas de madera	76,1
Partes de muebles de madera	71,6
total	954,1

**Tabla 3.4. Principales productos importados sector de madera.**

Fuente: AEIM.

- Número de empresas por Comunidades Autónomas en el sector de la Madera y el Mueble.

	MADERA	MUEBLE	TOTAL MADERA Y MUEBLE	% Total del sector
TOTAL NACIONAL	14.421	17.053	31.474	100
ANDALUCÍA	1.743	2.980	4.723	15
ARAGÓN	436	487	923	2,9
ASTURIAS	332	336	668	2,1
BALEARES	552	406	958	3
CANARIAS	499	469	968	3,1
CANTABRIA	261	136	397	1,3
CASTILLA Y LEÓN	1.002	943	1.945	6,2
CASTILLA-LA MANCHA	936	1.193	2.129	6,8
CATALUÑA	2.451	2.518	4.969	15,8
C. VALENCIANA	1778	2.132	3.910	12,4
EXTREMADURA	435	397	832	2,6
GALICIA	1.390	1.099	2.489	7,9
MADRID	870	1.842	2.712	8,6
MURCIA	407	876	1.283	4,1
NAVARRA	343	175	518	1,6
PAÍS VASCO	829	862	1.691	5,4
LA RIOJA	154	196	350	1,1
CEUTA Y MELILLA	3	6	9	0

**Tabla 3.5. Empresas por CCAA en Madera y Mueble** Fuente: CONFEMADERA/DIRCE 2010.

- Análisis de las empresas de madera y mueble por subsectores y Comunidades Autónomas:

	Aserrado y cepillado de la madera	Fabricación de productos de madera, corcho, cestería y espartería	Total sector de la madera (sin mueble)	Fabricación de muebles	Total sector madera y mueble
Andalucía	101	1.642	1.743	2.980	4.723
Aragón	34	402	436	487	923
Asturias	57	275	332	336	668
Baleares	19	533	552	406	958
Canarias	14	485	499	469	968
Cantabria	13	248	261	136	397
Castilla y León	230	772	1.002	943	1.945
Castilla y La Mancha	60	876	936	1.193	2.129
Cataluña	123	2.328	2.451	2.518	4.969
Comunidad Valenciana	88	1.690	1.778	2.132	3.910
Extremadura	28	407	435	397	832
Galicia	363	1.027	1.390	1.099	2.489
Comunidad de Madrid	44	826	870	1.842	2.712
Murcia	25	382	407	876	1.283
Navarra	47	296	343	175	518
Pais Vasco	101	728	829	862	1.691
La rioja	15	139	154	196	350
Ceuta y Melilla	0	3	3	6	9
Total	1.362	13.059	14.421	17.053	31.474

Tabla 3.6. *Empresas de madera y mueble por subsectores.* Fuente: CONFEMADERA/ DIRCE.

Exportaciones del sector Madera-Mueble por comunidades autónomas en millones de euros					
Nº	Comunidad Autónoma	2009	Nº	Comunidad Autónoma	2010
1	Cataluña	600,9	1	Cataluña	522
2	Comunidad Valenciana	429	2	Comunidad Valenciana	399,3
3	Galicia	350,2	3	Galicia	380,3
4	Andalucía	135,4	4	Aragón	153,8
5	País Vasco	123	5	Andalucía	137,5
6	Madrid	116,6	6	Madrid	135,2
7	Castilla y León	115,9	7	Castilla y León	127,1
8	Aragón	90,3	8	País Vasco	117,9
9	La Rioja	89	9	La Rioja	102,6
10	Navarra	75,9	10	Navarra	81,4
11	Murcia	50,9	11	Murcia	50,9
12	Castilla la Mancha	49,2	12	Castilla la Mancha	48,4
13	Extremadura	12,4	13	Extremadura	11,9
14	Baleares	4,4	14	Asturias	9
15	Cantabria	4,2	15	Cantabria	8,2
16	Asturias	3,8	16	Canarias	5,1
17	Canarias	2,2	17	Baleares	5
TOTAL		2.257	TOTAL		2.301

**Tabla 3.7. Exportaciones del sector madera mueble por CCAA. Fuente: CONFEMADERA/ICEX.**

El sector de la madera tiene un gran peso dentro de la industria española por su número de empresas y el empleo que genera.

El sector cuenta con algo más de 15.700 empresas, la mayoría pymes, que ofrecen una gran capacidad de adaptación y flexibilidad debido a las múltiples necesidades de sus clientes.

Esta industria, a la que también ha afectado la crisis, generó en el año 2009 un empleo directo de algo más de 86.000 trabajadores y facturó 9.766 millones de euros, un 24% y un 14% menos que en 2008 respectivamente.



Las empresas de la madera están distribuidas por todo el territorio nacional. Sin embargo tres regiones destacan por su concentración empresarial: Cataluña, Andalucía y Comunidad Valenciana.

### 3.3. Características de la madera.

#### 3.3.1. Madera a usar en la planta pelets.

El *Atlas forestal de Castilla y León* nos indica que las coníferas cubren grandes extensiones de los espacios forestales de la Comunidad de Castilla y León, predominando en ellas de forma dominante los pinos de varias especies.

Extensas comarcas de las provincias de Segovia, Burgos, Soria y Ávila vienen siendo denominadas, histórica y tradicionalmente, “Tierra de pinares”. Se trata de montes formados por especies arbóreas autóctonas que de forma natural cubren amplias superficies.

En cuanto a números, atendiendo a masas naturales, las coníferas representan el 47% de la superficie arbolada de Castilla y León, y dentro de ese 47% el 39% corresponde a *Pino silvestre* y un 50% a *Pino negral* ó *Pino pinaster*, datos obtenidos del *Atlas forestal de Castilla y León Tomo1*.

El pino negral ó pinaster, es una especie propia del mediterráneo occidental, cuyas masas forestales se localizan sobre todo en la Península Ibérica. En Castilla y León ocupa unas 285.00 hectáreas, donde destacan los pinares localizados en Segovia, Ávila, Soria, Burgos y Salamanca.

La materia prima que abastecerá a la planta de pelets será pues *Pino Pinaster*, por ser la especie más extendida en Castilla y león, lo cual nos garantiza un mejor suministro de la misma, además se trata de una madera de aserrado y mecanizado fácil. Posee una rápida velocidad de secado así como una densidad entre 530-550 Kg./m<sup>3</sup>. (datos obtenidos del libro “Especies de madera” de Antonio Guindeo Casasús entre otros.

Las empresas que trabajan con madera generan residuos durante la transformación de la misma, antes dichos residuos se quemaban o desaprovechaban.

Podríamos clasificar los residuos en dos tipos:

- Residuos de primera transformación: Son los generados en el aserradero, durante el corte y serrado de la madera proveniente directamente del tronco. En este proceso se genera serrín, astillas y virutas fundamentalmente.
- Residuos de segunda transformación: Son los que se obtienen de productos ya elaborados, como pueden ser muebles o marcos.



La planta se bastecerá de los residuos obtenidos en la primera transformación, en particular serrín y astillas, ya que se pretende obtener un producto (pelet) que cumpla con la normativa Europea EN 14961-2, y obtener el certificado de calidad A1.

Para lo cual es necesario el uso de residuos de madera que no hayan sido tratados químicamente. No se incluirá la corteza del árbol, puesto que el tronco, al caer, ser arrastrado etc...hace que partículas ubicadas en el suelo, como la tierra, se adhieran a la madera, y se pierda la homogeneidad y calidad buscada .

Del mismo modo no se utilizarán los residuos de 2ª transformación, aquellos residuos que hayan sido tratados químicamente o contengan aditivos, pegamento, pintura etc. ya que estos elementos bajan la calidad y homogeneidad del producto final (pelet).

### 3.3.2. La humedad y el secado de la madera<sup>2</sup>.

#### **1. La humedad en la madera.**

El agua es el vehículo de transporte que emplean las plantas para su alimentación. Esta actividad transportadora se realiza principalmente en la albura, de forma que las células que la constituyen se encuentran saturadas de agua con el fin de que se formen columnas ininterrumpidas desde las raíces hasta las hojas.

La madera en verde contiene agua en tres estados.

- Líquida, rellenando los lúmenes celulares.
- Vapor de agua, rellenando los espacios vacíos de los lúmenes.
- Forma higroscópica, en el interior de las paredes celulares.

Por tanto, el agua está siempre presente en el interior de la madera en un grado que es necesario determinar antes de proceder a su secado o uso final.

La madera es un material higroscópico que toma o cede humedad del ambiente en función del estado higrotérmico del aire. El agua que se encuentra en el interior de la madera tiende al equilibrio con las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa). Por tanto, para cada situación de humedad relativa y temperatura del aire se tiene un contenido de humedad en la madera al que se le conoce como Humedad de Equilibrio Higroscópico (HEH). Esta humedad (HEH) también se puede definir como el porcentaje de humedad que alcanzaría una a lo largo del tiempo, sometida a unas ciertas condiciones de humedad y temperatura del medio ambiente en que se encuentre.

Definimos higroscopicidad como la capacidad que tienen ciertos materiales de absorber humedad de la atmósfera que les rodea y de retenerla en forma de agua líquida o vapor de agua.

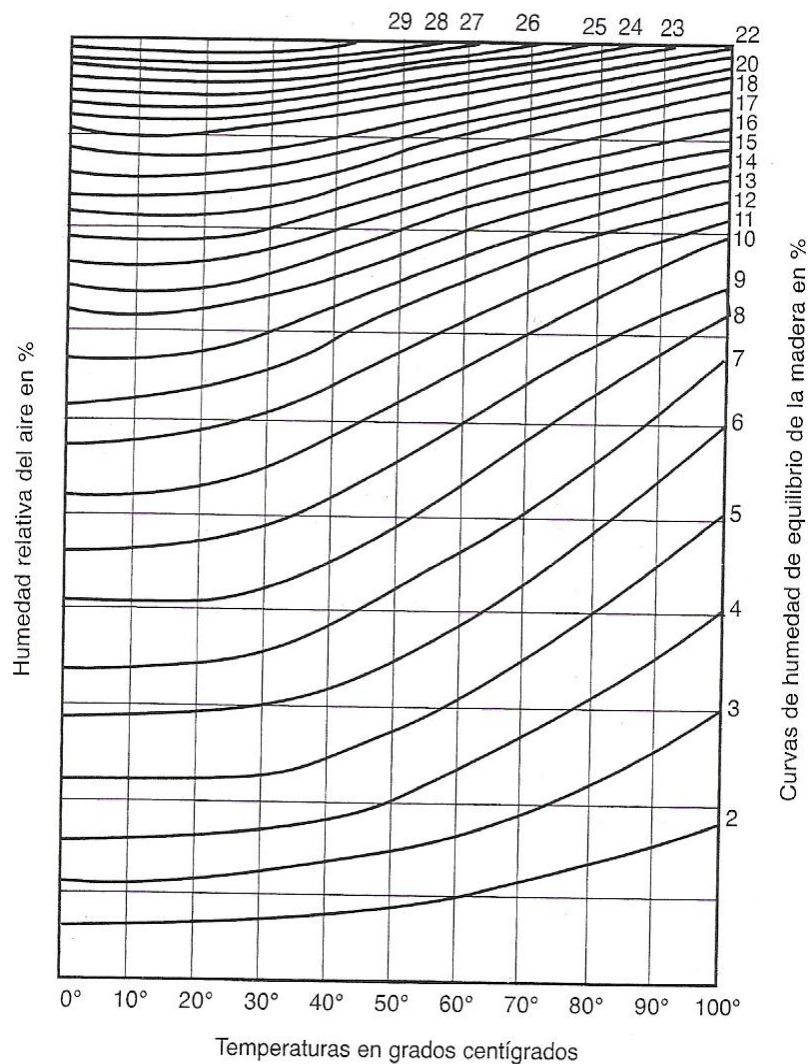
---

<sup>2</sup> Fuente: “Tecnología de la madera” 3ª edición. Ignote Peña Santiago, y “Los biocombustibles” de Francisco Marcos Martín.

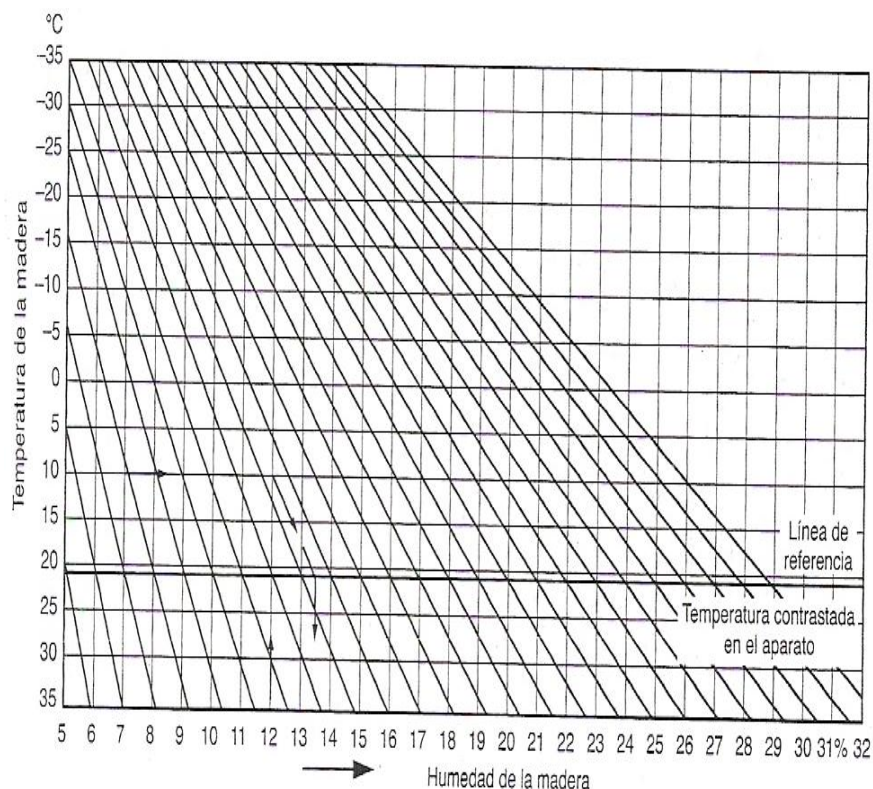


La humedad de Equilibrio Higroscópico depende de:

- Influencia de la humedad relativa: Es el factor más importante entre los que afectan al contenido de humedad de la madera.
- Influencia de la temperatura: Un aumento de temperatura de la madera tiene dos efectos en las isoterms de sorción. El primero que se aprecia es una reducción temporal en la humedad de equilibrio. Esta situación es totalmente reversible y se podría volver al estado anterior disminuyendo de nuevo la temperatura. El segundo efecto es la reducción permanente de la higroscopicidad de la madera una vez que esta retorna a la temperatura inicial.



**Gráfico 3.2. Relación entre HEH de la madera con la temperatura y humedad del medio ambiente.** Fuente: "Tecnología de la madera." Vignote Peña, Santiago.



**Gráfico 3.3. Corrección de la humedad de la madera en función de la temperatura ambiental. Fuente: Tecnología de la madera (Vignote Peña, Santiago).**

La humedad es una variable muy importante desde el punto de vista del aprovechamiento energético de las leñas, pues es la que mas influye en el poder calorífico de las mismas, más aun que la especie de madera. La humedad puede medirse en base seca, o en base húmeda.

Para determinar el contenido o porcentaje de humedad en la madera, se utilizan las siguientes expresiones:

- Humedad en base seca (Hbs):

$$Hbs = (Ph - P0) / P0 \quad \text{Ecuación 3.1.}$$

Siendo:

- Ph el peso de la madera a un % de humedad conocido.
- P0 el peso de la madera en estado anhidro, esto es, la madera está seca (% de humedad = 0).



- Humedad en Base húmeda (Hbh):

$$Hbh = (Ph - P0) / Ph \quad \text{Ecuación 3.2.}$$

Con los términos Ph y P0 definidos anteriormente.

Como se cito anteriormente, la humedad es un parámetro muy importante, ya que:

- Afecta a la mayoría de los procesos de transformación de la madera, tales como aserrado, cepillado, barnizado etc.
- Respecto al comportamiento, la humedad es un factor que influye en su durabilidad, resistencia, peso, y sobretodo en sus dimensiones, ya que si la madera adquiere mas humedad, se hincha, y si se la pierde, merma su tamaño.
- Cuanto mayor es la humedad, menor es el poder calorífico de la leña. Esto se debe a:
  - Cuanto mayor humedad tiene la madera, menos materia seca hay por unidad de masa y, como lo que proporciona el calor al arder es la materia seca y no el agua, menor será el calor suministrado.
  - Cuanto más humedad tiene la madera, mayor cantidad de agua hay que evaporar, y en esta evaporación se consume calor, con lo que la reacción de combustión invierte parte del calor producido en evaporar dicha agua.
- También es importante en el transporte de leñas. Cuando transportamos leña húmeda, estamos transportando madera, corteza y agua y si las leñas están más secas, transportaremos menos agua.

A la hora de comprar leña, hay que saber que la leña seca es más barata que la húmeda, pero aun así hay que considerar el % en humedad de la misma, si no corremos el riesgo de comprar mucha agua y poca materia sólida.

- Densidad de la madera y su relación con la humedad.

La densidad de un material ( $\rho$ ) se define como el cociente entre la masa del material y el volumen que ocupa.



Sabiendo que la madera tiene un contenido en agua (posee cierto % de su peso en agua), la expresión sería:

$$\rho_H = M_h / V_h \quad \text{Ecuación 3.3.}$$

Donde:

- $\rho_H$  Es la densidad ( Kg / m<sup>3</sup>)
  - $M_h$  Es la masa de la madera húmeda (Kg.)
  - $V_h$  Es el volumen de la madera (agua incluida)
- Dos maderas distintas con el mismo porcentaje de humedad pueden contener cantidades de agua muy diferente. Valga el ejemplo del Chopo, y el Roble, ambos con porcentaje de humedad del 50%:
    - El chopo tendrá 175 l / m<sup>3</sup>.
    - El roble tendrá 375 l / m<sup>3</sup>.
    - Esto se debe a que la densidad anhidra del chopo es de 0,35 g/cm<sup>3</sup> mientras que la del chopo es es 0,75 g / cm<sup>3</sup>.
  - La humedad en la madera.

Desde el momento en que es apeado el árbol, comienza el secado de la madera. Éste se acelera al descortezarlo y aún más cuando es procesado en sierra.

Al contacto con el aire, el agua que contiene la madera va evaporándose. Los estados ambientales y de humedad en que se encuentren tanto la madera como el aire condicionan la duración, el modo y la calidad del secado.

La siguiente tabla nos muestra los diferentes tipos de madera y sus humedades.

DENOMINACIÓN	HUMEDAD	ESTADO DE LA MADERA
Empapada	>70%	Sumergida en agua o recién apeada (especie)
Verde	30%<H<70%	En pie o recién apeados (especie)
Saturada	28%<H<32%	En equilibrio con aire saturado
Semiseca	22%<H<30%	Ligeramente oreada
Protegida de plagas	8%<H<20%	Presecada hasta evitar ataques de hongos
Comercialmente seca	12%<H<22%	Presecada y oreada hasta cond. transporte
Secada al aire libre	14%<H<18%	Oreada hasta el equilibrio con el medio
Desecada	8%<H<13%	Secada artificialmente
Anhidra	0%	Exenta de cualquier vestigio de agua

**Tabla 3.8. Denominaciones de la madera y su humedad. Fuente: Guía de las principales maderas y de su secado. E. Cigalat Figueroa y M. Soler Burillo. 2003.**

La humedad es un parámetro fundamental como ya se mencionó, y su reducción permite que la madera sea un combustible más eficaz.

La humedad depende en gran medida de las condiciones ambientales, tanto antes de cortar el árbol como durante el almacenamiento de los residuos almacenados para su posterior tratamiento.

Es necesario someter a la madera a un proceso de secado este puede ser secado natural o secado artificial, también conocido como secado forzado.

## 2. Secado de la madera.

### 2.1. Secado natural.

Normalmente la biomasa residual forestal presenta un elevado contenido de humedad, lo que plantea una serie de problemas en el acondicionamiento para su utilización con fines energéticos.



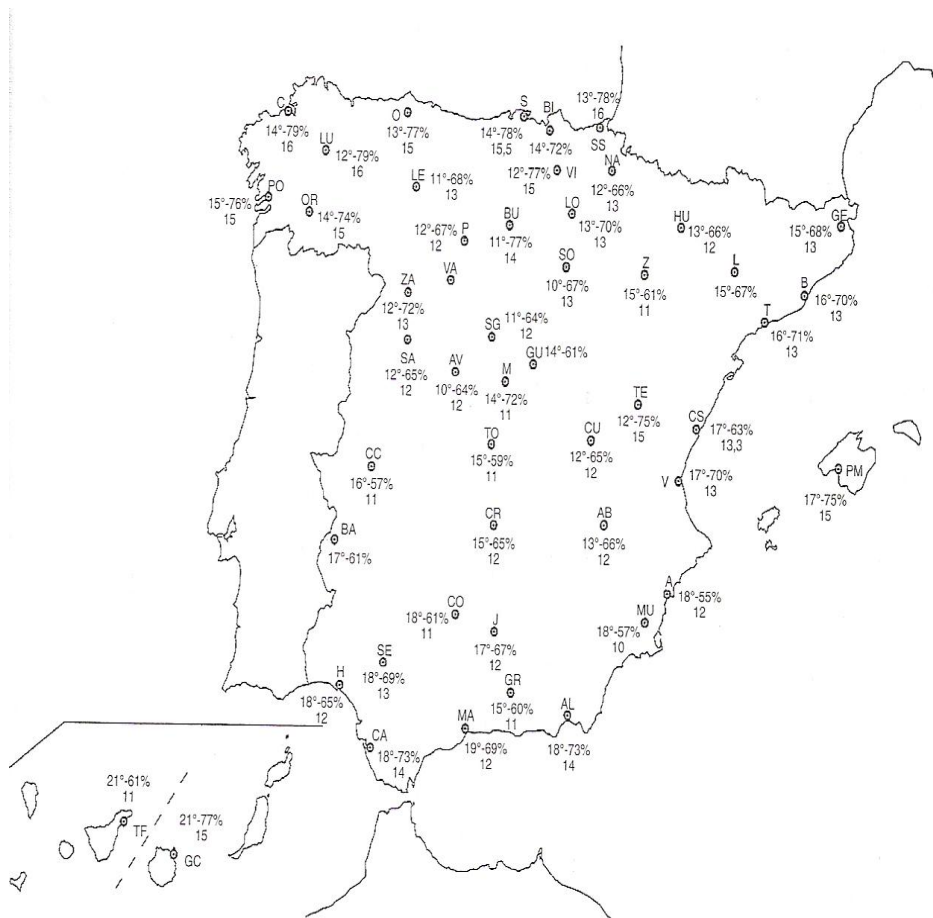
El secado natural se basa en aprovechar las condiciones ambientales favorables para facilitar la deshidratación de los residuos. En el caso de los residuos forestales procedente de las cortas existen dos posibilidades:

- Realizar el secado directamente en el monte.
- Realizar el secado tras obtener el residuo.

En nuestro caso, la empresa no se encarga de la tala del árbol, si no que aprovecha los residuos obtenidos por otras empresas madereras, por lo que el secado se realizaría sobre el mismo residuo y no sobre el tronco inicial.

La velocidad de secado depende de:

- La temperatura del aire que rodea a la madera, a mayor temperatura, mayor movilidad del agua y por tanto mas rápido es el secado.
- La relación entre la humedad de la madera y la H.E.H. de la cámara “gradiente de secado”. Esto es, la relación entre la humedad de la madera y la humedad del entorno, cuanto mayor es el gradiente más rápido se produce el secado.



**Figura 3.1. H.E.H. medio al exterior en España. Fuente: "Tecnología de la madera" Vignote Peña Santiago 2006.**

Durante el almacenado de residuos de la madera se producen una serie de procesos termogénicos debidos a la acción de las células vivas de la madera, a la actividad biológica de microorganismos (bacterias y hongos) y fenómenos de oxidación química e hidrólisis ácida de los componentes de la celulosa, que ocasionan pérdidas energéticas en los materiales.

La liberación inicial de calor en la pila, es producida fundamentalmente por la respiración de las células vivas de parénquima y el desarrollo de bacterias. Cuando se alcanzan temperaturas del orden de 40°C, las células vivas mueren gradualmente; a partir de ese punto la evolución del calor a largo plazo está ocasionada fundamentalmente por la respiración de los hongos, pero por encima de 45-50°C las reacciones químicas liberadoras de calor se hacen también cada vez más importantes.

La temperatura que llegan a alcanzar las pilas de residuos depende, además de la temperatura ambiente, precipitaciones, tamaño y compactación de la pila etc.



En las partes centrales de las pilas, la temperatura se eleva rápidamente durante las primeras semanas de almacenaje, luego se estabiliza y finalmente disminuye de manera progresiva. Bajo determinadas condiciones pueden producirse fenómenos de carbonización o ignición espontánea de las pilas.

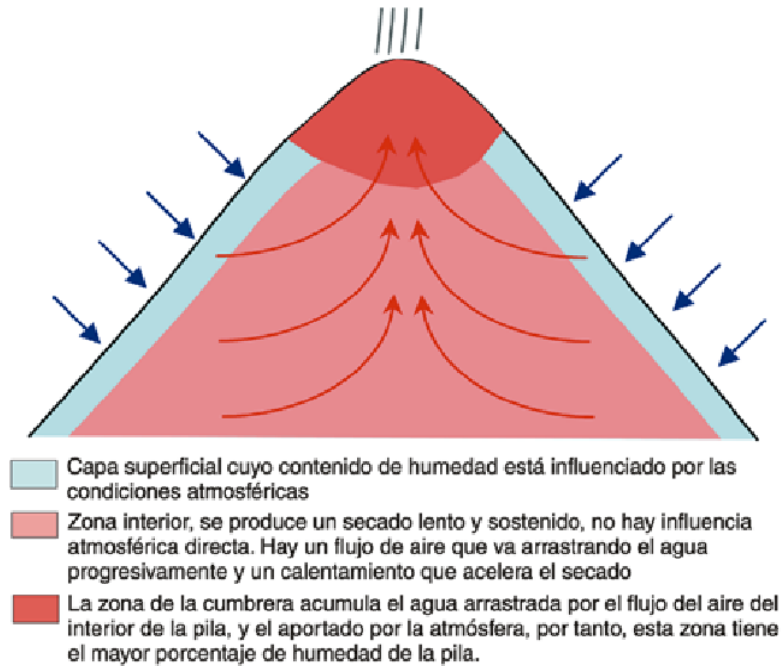


Figura 3.2. *Secado natural de los residuos apilados.* Fuente: Revista CIS-Madera.



Figura 3.3. *Almacenamiento del subproducto antes de su tratamiento.* Fuente: Autoría propia.



Durante este almacenamiento en pilas de la astilla, se registra una pérdida de madera que en general suele oscilar entre el 0,5 y 1% por mes en climas fríos y templados, y entre el 0,75-3% por mes en climas cálidos y húmedos.

Las recomendaciones prácticas más importantes para lograr un secado natural, sin tener una pérdida importante de materia seca, son:

- Hacer pilas no más grandes de 40-50 m<sup>3</sup>.
- Evitar hacer pilas de más de 4 metros de altura para que el material no se apelmace.
- Controlar la temperatura en el interior de la pila y voltear el material cuando se registren temperaturas superiores a los 60 °C.

El secado natural requiere periodos de tiempo de almacenamiento de los residuos que pueden oscilar entre 1 y 3 meses de duración, según sea la madera las condiciones etc. y nunca se llegará a una humedad inferior al 15% (Fuente: “Fundamentos teóricos del secado de la madera” H. Álvarez Noves.) sin embargo, tras consultar a empresas del sector no es rentable almacenar los residuos tanto tiempo, por lo que el subproducto (serrín y astillas) comenzara su transformación con un % de humedad entorno al 50%, por lo que será necesario un secado forzado del subproducto antes del peletizado.

## 2.2. Secado Forzado.

Como ya se indicó, con el secado natural en la práctica se pueden conseguir humedades del 20%, pero no es rentable pues requiere mucho tiempo de almacenamiento, por lo que es necesario recurrir a procesos de secado artificial o forzado.

Para el secado forzado de la biomasa, los equipos más utilizados se clasifican en:

- Secaderos directos.

La transferencia de calor es por contacto directo entre el material húmedo y los gases calientes.

- Secaderos indirectos.

La transferencia de calor se realiza a través de una pared de retención.



Los equipos también se pueden clasificar según sea la dirección del flujo térmico respecto al flujo del material:

- Secadero de corrientes paralelas unidireccionales:

El flujo de gas y de la materia sólida discurren en el mismo sentido, de forma que el gas va absorbiendo la humedad durante el recorrido, por lo que al final del secadero el gas puede llegar saturado de agua, disminuyendo así la eficacia del secado.

- Secadero a contracorriente:

En este tipo de secaderos, los flujos de gas y materia sólida discurren en sentido contrario, de manera que la materia sólida al avanzar, se encuentra con un ambiente cada vez más seco, resultando así el secado más eficaz.

Los distintos equipos de secado se explicarán en el capítulo V.



### 3.4. La madera como biocombustible.<sup>3</sup>

1. La composición del árbol medio para pino silvestre es:

- Hojas: 6% en masa seca.
- Ramillas: 7% en masa seca.
- Tronco: 55% en masa seca.
- Corteza total: 14% en masa seca.
- Cuello de la raíz: 9% en masa seca.
- Resto de la raíz. 9% en masa seca.

2. El poder calorífico de la madera.

Desde el punto de vista energético, una de la principal característica de los biocombustibles es su poder calorífico.

Kollmann definió en 1959 el poder calorífico como el calor desprendido por kilogramo de combustible en combustión completa a una presión constante de 1Kg / cm<sup>2</sup>.

Esta definición requiere ciertas matizaciones, ya que en la actualidad hay que distinguir entre poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI) y poder calorífico real (PCR). En España la obtención del poder calorífico se realiza a volumen constante y no a presión constante.

- Poder calorífico superior (PCS):

También conocido como calor de combustión superior, es el calor desprendido por un kilogramo de biomasa forestal y su valor se mide en bomba calorimétrica.

- Poder calorífico inferior (PCI):

Es el calor desprendido por un kilogramo de biomasa forestal, en una combustión en la que el agua libre se libera en forma de vapor. Si esta agua se condensa desprendería calor y obtendríamos entonces el PCS, añadiendo al PCI este calor desprendido.

El PCI es menor que el PCS, y cuanto mayor es la humedad, mayor resulta esta diferencia.

---

<sup>3</sup> Fuente: “Biocombustibles sólidos de origen forestal” Francisco Marcos Martín.



- Poder calorífico real o efectivo (PCR):

Se obtiene multiplicando el PCI por el rendimiento de la combustión que a efectos prácticos suele ser de 0,85.

La ecuación mas utilizada para el cálculo del PCI en la madera y corteza es:

$$\text{PCI} = m \times \text{PCI}_m + c \times \text{PCI}_c \quad \text{Ecuación 3.4.}$$

Donde:

- $m$  = Tanto por uno en peso de la madera.
  - $\text{PCI}_m$  = Poder calorífico inferior de la madera en kcal / Kg.
  - $C$  = Tanto por uno en peso de la corteza.
- $\text{PCI}_c$  = Poder calorífico inferior de la corteza.

El poder calorífico de los biocombustibles sólidos de origen forestal debe ser función de las humedades medidas en base seca ( $h$ ) o en base húmeda ( $H$ ) mediante las siguientes expresiones:

- $\text{PCI}_h = \text{PCS}_0 \times [1 / (1 + h)] - 665 \times [(0,54 + h) / (1+h)] \quad \text{Ecuación 3.5.}$

- $\text{PCI}_H = \text{PCS}_0 \times (1 - H) - 665 \times (0,54 - 0,46H) \quad \text{Ecuación 3.6.}$

Dónde:

- $\text{PCS}_0$  es el poder calorífico superior anhidro en Kcal/kg.
- $\text{PCI}$  es el poder calorífico inferior en Kcal/Kg.
- $h$  es la humedad en base seca, cuya expresión puede ser:
  - $h = (\text{Ph} - \text{P}_0) / \text{P}_0$ . Con  $\text{Ph}$  el peso húmedo y  $\text{P}_0$  el peso seco sin agua.
  - $h = H / (1-H)$ .
  - $H = (\text{Ph} - \text{P}_0) / \text{Ph}$ .
  - $H = h / (1+h)$ .

A continuación se muestran unas tablas con propiedades y características de diferentes tipos de biocombustibles y maderas.

Principales biocombustibles	Aspecto físico
Leñas	Sólido
Astillas	
Briquetas	
Pellets	
Carbón vegetal	
Líquido piroleñoso	Líquido
Líquido de hidrólisis	
Bioetanol	
Bioaceite	
Metiléster	
Biogás	Gaseoso

**Tabla 3.9. Biocombustibles y su aspecto físico.** Fuente: “Biocombustibles sólidos de origen forestal” Francisco Marcos Martín. 2001.

Las siguientes tablas se referirán exclusivamente a biocombustibles derivados de la madera.

Biocombustible	Transformación	Proceso	Poder Calorífico Superior Anhidro (Kcal / Kg.)
Leñas	Física	Fragmentación	4.500-5.300
Astillas	Física	Fragmentación	4.500-5.300
Briquetas de madera	Física	Fragmentación, secado y compactación	4.500-5.300
Pellets	Física	Fragmentación, secado y compactación	4.500-5.300

**Tabla 3.10. Propiedades de biocombustibles derivados de la madera.**  
Fuente: “Biocombustibles sólidos de origen forestal” Francisco Marcos Martín. 2001.

La siguiente tabla nos muestra los diferentes poderes caloríficos de algunas especies de pino en España (solo consideraremos madera, no corteza), para una humedad del 20% y para una humedad del 0% (datos obtenidos del informe de evaluación del potencial de la biomasa PER 2011-2020 publicado por el IDAE).

Especie	PCI20% Kcal/Kg.	PCI0% Kcal/Kg.
Pinus Sylvestris	3.983,7	5.048
Pinus halepensis	3.618,42	4.880,38
Pinus Pinaster	4.084,92	5.007,89

**Tabla 3.11. Poderes caloríficos de distintas especies de pino con diferentes porcentajes de humedad.** Fuente: IDAE y “Biocombustibles Sólidos de origen forestal”.



Esta tabla indica, como se mencionó anteriormente, que a menor contenido de humedad, mayor poder calorífico, por ello controlar la humedad de la madera que se usará como combustible es fundamental.

Una de las ventajas de usar la madera como combustible es que es una energía limpia que no contribuye al efecto invernadero, tal y como vemos a continuación en el análisis de la madera.

Elemento químico	Carbono	Hidrógeno	Nitrógeno	Oxígeno	Cenizas
Porcentaje en masa	50	6	41	1	2

Tabla 3.12. Composición elemental de la madera.

Fuente: "Biocombustibles sólidos de origen forestal" Francisco Marcos Martín.

Aunque se expone que el contenido en azufre es nulo, en la realidad, al quemar madera, libera una pequeña cantidad de azufre, pero ese porcentaje es menos o igual 1, y en muchos caso nulo.

Con estos datos podemos concluir que la combustión de la leña es más limpia que otros combustibles ya que:

- La leña tiene un contenido muy bajo en azufre, mientras que otros elementos del árbol, como hojas, flores, frutos etc. lo tienen mayor.

Por este motivo la combustión de la madera produce poco dióxido de azufre y es menos contaminante que otros combustibles como el carbón, que tiene por término medio mucho más azufre.

- La leña tiene un contenido de nitrógeno también muy bajo, produciendo cantidades muy bajas de óxido de nitrógeno y es poco contaminante.
- La leña tiene bajos contenidos en elementos nutrientes del suelo.



## 4. Producción, comercialización y uso de pelets.

### 4.1. Introducción.

La madera y las astillas han sido utilizadas como combustibles desde que apareció el fuego, su uso en la actualidad se limita a instalaciones industriales y en instalaciones domésticas, para calentar recintos y o habitaciones mediante chimeneas, en un sistema poco eficiente a la vez que aparatos e incómodo.

Este tipo de combustible presenta varios problemas:

- Producto no homogéneo.
- Un tamaño y densidad elevadas que dificulta su transporte, almacenamiento.
- Imposibilidad o muy compleja de automatización de los sistemas de calefacción y calderas en las que se utilizan.

Esto hizo que los combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural fueran sustituyendo a la madera ya que los combustibles fósiles presentan ventajas de transporte, homogeneidad, almacenamiento, automatización de los equipos en los que se utilizan y un mayor poder calorífico.

Sin embargo el uso de combustibles fósiles conlleva una serie de desventajas a tener en cuenta:

- Elevado precio.
- Dependencia de los países que dispongan de dichos recursos.
- Inestabilidad debido a las fluctuaciones en los precios del petróleo y gas natural que pueden verse alterados por motivos externos a la producción y obtención del mismo.

El pelet es un biocombustible estandarizado, de geometría cilíndrica obtenido a partir de la compresión de virutas, serrín, astillas etc. procedentes de las industrias madereras.

El pelet, al estar compuesto solo de madera, su balance de CO<sub>2</sub> durante su combustión es neutro, ya que el CO<sub>2</sub> desprendido durante la combustión es el mismo que absorben las plantas durante la fotosíntesis.

El proceso de fabricación se realiza mediante prensado, siendo la propia lignina de la madera la que actúa de aglomerante. No necesita pegamento ni ninguna otra sustancia aglutinante más que la misma madera, manteniendo de esta forma su carácter ecológico.

El pelet tiene las siguientes características Físicas<sup>4</sup>

- Forma y tamaño.

El pelet tiene forma cilíndrica y su tamaño es menor que otros combustibles densificados como las briquetas para así facilitar su uso y automatización.

El diámetro del pelet no debe superar los 25mm., siendo los más habituales entre 5 y 22 mm. De la misma forma, la longitud también es variable, entre 10 y 35 mm.

- Densidad.

La principal característica de los pelets es su mayor densidad respecto a otros tipos de biomasa, facilitando así su uso y manejo.

La densidad específica no es una variable que se pueda modificar, como si ocurre con la humedad, depende de la materia de origen. Cuanto más denso sea el material más resistencia ofrece a su compresión, obligando así a ejercer más compresión para obtener un buen nivel de compactación.

En los pelets es necesario considerar la densidad real y la densidad aparente.

- Densidad real:  $\rho = M_{\text{real}} / V_{\text{real}}$  (Kg./m<sup>3</sup>) Ecuación 4.1.

Dónde:

- $M_{\text{real}}$ = Masa real.
- $V_{\text{real}}$ = Volumen real.

- Densidad aparente:  $\rho_A = M_{\text{aparente}} / V_{\text{aparente}}$  (Kg./m<sup>3</sup>) Ecuación 4.2.

Dónde:

- $M_{\text{aparente}}$ = Masa aparente.
- $V_{\text{aparente}}$ = Volumen aparente.

Siendo la masa aparente igual a la real, y el volumen aparente igual al volumen real + volumen de los huecos.

Como el volumen aparente es mayor que el real, la densidad aparente es menor que la real. Para la determinación la densidad real de los pelets se realizan ensayos de laboratorio.

---

<sup>4</sup> Fuente: "Biocombustibles sólidos de origen forestal" Francisco Marcos Martín, y Enerpellet







La densidad promedio suele estar entre 1000 y 1200 Kg./m<sup>3</sup> y de 800m<sup>3</sup> cuando se distribuye a granel (Fuente: "Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria". Revista CIS-Madera), sin embargo empresas como Enerpellet indican una densidad de entre 700 y 800 Kg./ m<sup>3</sup> en los pelets de "samll bags", aún así es muy superior a la de los combustibles no prensados de madera como las astillas (aproximadamente 200-300 kg/m<sup>3</sup>).

- Humedad.

La humedad del pelet es muy importante desde el punto de vista energético, ya que como se explicó en el capítulo anterior, un alto contenido en humedad equivale a un bajo poder calorífico.

De la misma forma, un bajo contenido de humedad influye en la buena compactación del pelet, que es el objetivo buscado, un alto contenido en humedad hace del pelet poco compacto, y con facilidad de que rompa o quiebre.

Del mismo modo, un alto contenido en humedad producirá:

- Mayor cantidad de volátiles.
- Mayor cantidad de ceniza.
- Menor eficiencia en las estufas, y mayor desgaste de las mismas.

- Friabilidad.

Se relaciona con la capacidad de los pelets para resistir los golpes y la abrasión sin que se desmoronen durante el proceso de manufactura, empaquetado, transporte y uso del consumidor.

La friabilidad del pelet se considera en dos casos:

- Resistencia al golpeteo en el movimiento de pelets.
- La resistencia a desmenuzarse (friabilidad) cuando el pelet está en el hogar, horno o parrilla, también friabilidad en la combustión.

Para evaluar la friabilidad de los pelets se proponen dos métodos ensayos:

- Método del golpe contra el suelo.

Método basado en la rotura de pelets por golpeteo contra el suelo, que consiste en dejar caer sobre suelo cerámico, desde una altura de 100 cm., 100 pelets y contar el número de pelets que se rompen en 2, 3, 4, 5, etc. trozos. Y a partir de esos resultados obtener un índice de friabilidad.

- Basado en la rotura de pelets por golpeteo entre ellos.

Consiste en introducir en un recipiente de dimensiones normalizadas, pelets enteros, contando el número de pelets introducidos al inicio del ensayo (NI) y tenerlos vibrando un tiempo determinado, en condiciones también normalizadas, en dicho recipiente. Pasado ese tiempo se cuenta el número de pelets finales (NF).

El cociente  $FR = NF/NI$  es una medida de friabilidad. El valor de FR es siempre mayor o igual a 1.

La friabilidad en combustión se puede medir en:

- Minutos.

Son los minutos que transcurren hasta que el pelet se desmenuza, en las condiciones de ensayo establecidas.

- Se mide por un índice si se calcula el número de pelets desmenuzados en un tiempo dado en condiciones de combustión normalizadas y se compara ese número con el número de pelets introducidos en el hogar antes de la combustión.



Figura 4.1. *Pelets*. Fuente: Chimeneas Mediterránea.

En la actualidad los combustibles que se utilizan masivamente en los hogares son los combustibles fósiles (gas natural y gasoil), habiendo desplazado a la leña y al carbón. La facilidad de los combustibles fósiles en lo que a su gestión y automatización se refieren, les dan una ventaja fundamental sobre el resto de combustibles.

Por ello con el pelet se busca obtener un producto que, manteniendo su naturaleza sólida, su comportamiento (en transporte en camiones con carga y descarga a través de tuberías y su uso en estufas y calderas pueda ser regulado con precisión.) pueda asemejarse al de un fluido, disminuyendo la ventaja que hasta ahora tenían los combustibles fósiles.

Los pelets son utilizados en estufas domésticas de alimentación automática, en calderas para calefacción y agua caliente, y en los denominados “district heating” o sistemas de calor centralizados para urbanizaciones o edificios. Los pelets, a diferencia de otras formas de combustión de biomasa, pueden ser alimentados y dosificados mediante sistemas automáticos.

El poder calorífico del producto obtenido podrá variar según variables como humedad, proceso de densificación etc. pero la nueva normativa EN plus establece que un pelet ENplus-A1 tendrá un poder calorífico neto entre 16.5 y 19 MJ/kg tal y como se recibe el material.

#### 4.2. Comparación pelet vs. gasóleo.<sup>5</sup>

- Un litro de gasoil tiene 9500Kcal/Kg.
- Un kilo de pelet tiene 4780 Kcal/Kg.
- Por lo que se puede aproximar que 2Kg de pelet equivalen a 1 litro de gasoil.
- El precio de venta del pelet es de 226 €/TN es decir, 0,226€/Kg.
- El precio de venta del gasóleo es 0,95€/Kg.

Si tomamos 2kg. De pelet, nos costarían 0,452€, con esos 2 Kg obtenemos el equivalente a 1 litro de gasóleo, costando este último 1,3€ (fuente: Europa Press del Boletín Petrolero de la Unión Europea)

Estos datos permiten considerar el pelet como un combustible económicamente más asequible, además de ser ecológico y limpio.

---

<sup>5</sup> Fuente: Enerpellet

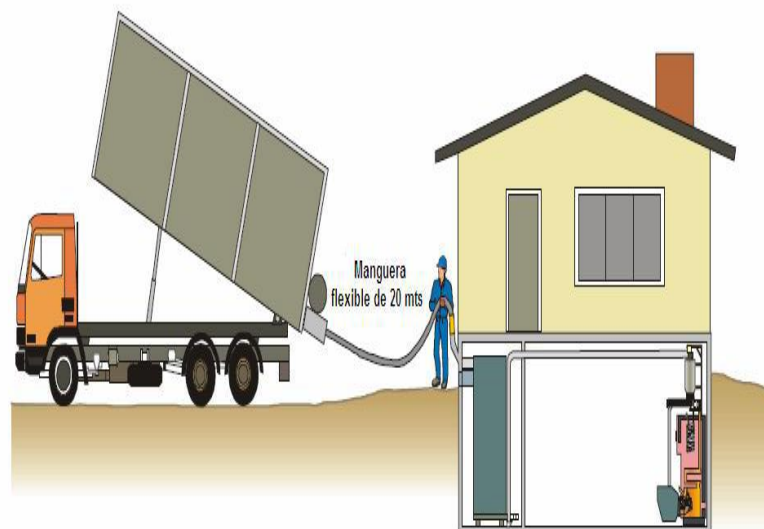
#### 4.3. Comercialización, producción y uso de los pelets.

Hay tres formas de comercialización en Europa:

##### **1. A Granel.**

Se consiguen unos precios más económicos al no tener gastos de envasado ni de envase.

Este tipo de comercialización está destinada a grandes consumidores con posibilidad de almacenaje en tolvas o depósitos de gran tamaño. El proceso de carga y descarga se realizará desde el mismo camión cisterna, mediante tubería propulsada.



**Figura 4.2. Comercialización de pelets a granel.** Fuente Jornadas Forestales de Entre Ríos.

##### **2. En “Big Bag”.**

El tamaño de estas bolsas varía desde 500 Kg. a 1000 Kg. El transporte es sencillo y económico, presentando como único inconveniente la necesidad de tener una grúa, cargador, Clark o similar para poder mover los sacos.

Este tipo de sacos son destinados principalmente para granjeros quienes poseen la maquinaria necesaria para mover los sacos ya que para pequeños consumidores les resulta más difícil disponer de dichas máquinas especiales.



**Figura 4.3. Comercialización de pelets en big bags.**  
Fuente JornadasForestales deEntreRíos.

### **3. En sacos de 15 Kg.**

Es el tipo de comercialización más extendida en la actualidad para el consumo de pelets en viviendas unifamiliares o pequeñas comunidades de vecinos.

Es un envase cómodo y con facilidad de almacenaje, resulta más caro que el resto de formas de comercialización, pero también resulta mas seguro, puesto que los pelets están envasados y perfectamente aislados del exterior.

En la planta que se proyecta, entre el 85 y el 90% de la producción obtenida será comercializada en sacos de 15Kg. al ser el formato más habitual. El transporte se realizará en el camión cisterna, desde la fábrica, al receptor final.



**Figura 4.4. Almacenamiento de pelets en bolsas de 15 kg.** Fuente: Autoría propia.





Figura 4.5. Comercialización de pelets en bolsas de 15 kg. Fuente: Enerpellet.

#### 4.4. Uso de los pelets.

Los pelets, según su materia de origen y calidad final, pueden usarse para:

- Uso industrial:

Se utilizan todo tipo de residuos de la madera, tanto de primera como de segunda transformación (restos de madera de productos ya elaborados, como los muebles), sin importar los aditivos que tenga (barniz, pintura etc.).

Se utilizan en la generación de electricidad, y en las empresas metalúrgicas que empleen grandes hornos etc.

- Uso en pequeñas y medianas instalaciones:

Se emplea principalmente para la producción de agua caliente y calefacción en viviendas, polideportivos etc.

La biomasa se utiliza a nivel doméstico básicamente en instalaciones de calefacción como estufas, calderas y chimeneas, también hay en el mercado algunos modelos de cocinas y hornos domésticos.

La moderna tecnología de las estufas y calderas automáticas de pelets ha alcanzado el mismo nivel de automatización y confort que las calderas de gasoil o de gas, alcanzando los mejores niveles de rendimiento y disminución de emisiones.

Existe una amplia gama de modelos de estufas de pelets en el mercado, las potencias van de 9 a 12 Kw. de potencia, que permiten calentar espacios de hasta 300 m<sup>3</sup>.

En cuanto a calderas la gama de potencias y modelos es también amplia y las potencias van de 25 hasta 500 Kw.

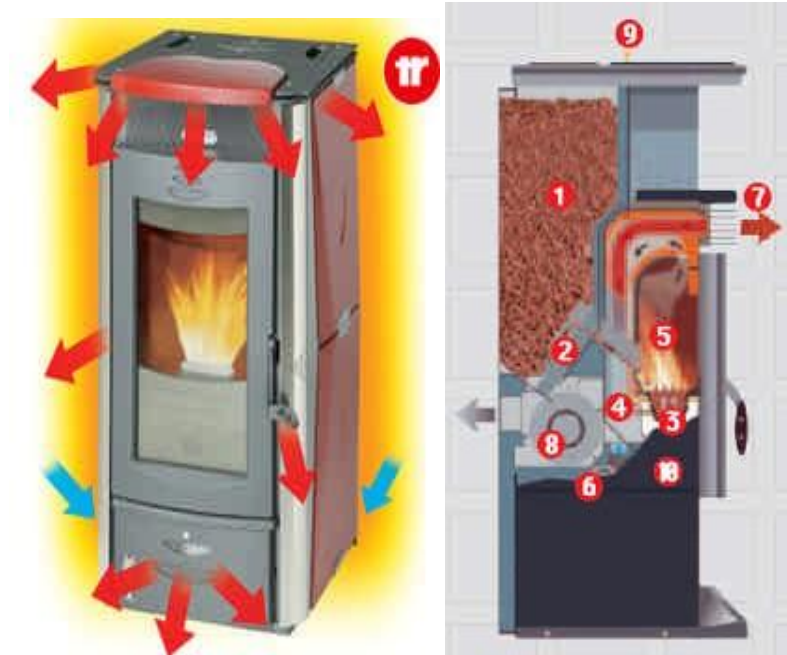


Figura 4.6. Esquema caldera biomasa. Fuente: Totsolar –Termosun.

1. Depósito de pelets
2. Cócleauent
3. Brasero en hierro fundido.
4. Resistencia eléctrica.
5. Hogar en hierro fundido.
6. Ventilador ambiente.
7. Salida aire caliente ventilación forzada.
8. Ventilación extractor del humo
9. Asta-cepillo-tubos.
10. Cajón para la ceniza.



Las calderas y estufas de pelets extraen el combustible de la tolva o de un silo, mediante sistemas automatizados como un “tornillo sinfín” que adecua la velocidad a la demanda de la caldera.

También incorporan sistemas de encendido automático mediante una resistencia eléctrica y sistemas automáticos de limpieza de intercambiadores.

Al igual que para uso doméstico la biomasa y los pelets se utilizan en instalaciones de calefacción colectivas para hospitales, escuelas, piscinas y también para industrias que requieran calor, tanto en forma de agua caliente como vapor, con análogas ventajas económicas respecto a la utilización de combustibles fósiles.

- Otros usos.

También se utiliza como cama o superficie de apoyo para diversos animales como gatos y caballos.

#### 4.5. Pelets en la actualidad: Evolución y consumo.

El número de iniciativas para fomentar la eficiencia energética y reducir la dependencia de los combustibles fósiles se dispara en todo el mundo. Ya no se trata de una estrategia contra el calentamiento global, ya que los precios del petróleo amenazan la rentabilidad de muchas actividades.

En países como España, la implantación de esta tecnología pudo también tener efectos positivos en la lucha contra los incendios forestales y la deforestación. El mercado de pelets no ha despertado aún en España con la fuerza que otras zonas del mundo, en particular en el norte de Europa, donde hay un mercado amplio y a la vista de su estado de desarrollo en Europa es muy probable que su irrupción sea inminente.

El pelet es un combustible fabricado a partir de residuos de madera y en algunos casos también de residuos agrícolas tales como la paja. Se inventó en Estados Unidos a finales de los años 70, pero se utilizó en zonas muy reducidas durante dos décadas aunque el desarrollo fue a menos con el tiempo, cuando comenzó a despegar su mercado en Europa. Posteriormente resucitó el interés en Estados Unidos y consecuentemente en todo el mundo.

Si bien el rebrote del interés en pelets está por el momento confinado a un limitado número de mercados, las ventas han crecido espectacularmente durante la última década.

Adicionalmente, el uso de pelets se está implantando en sistemas de co-combustión en plantas de carbón, por lo que su uso no se limita solamente al ámbito doméstico.

Los altos precios del petróleo desde el otoño de 2005 aceleraron las ventas de estufas y calderas de pelets, a la vez de un invierno muy frío en Europa originó tanto una fuerte demanda como una significativa escasez de materia prima para la producción de pelet.

La siguiente gráfica, publicada por el IDAE en el PER 2011-2020 nos muestra la evolución del mercado de pelets en el mundo, tanto producción como consumo:

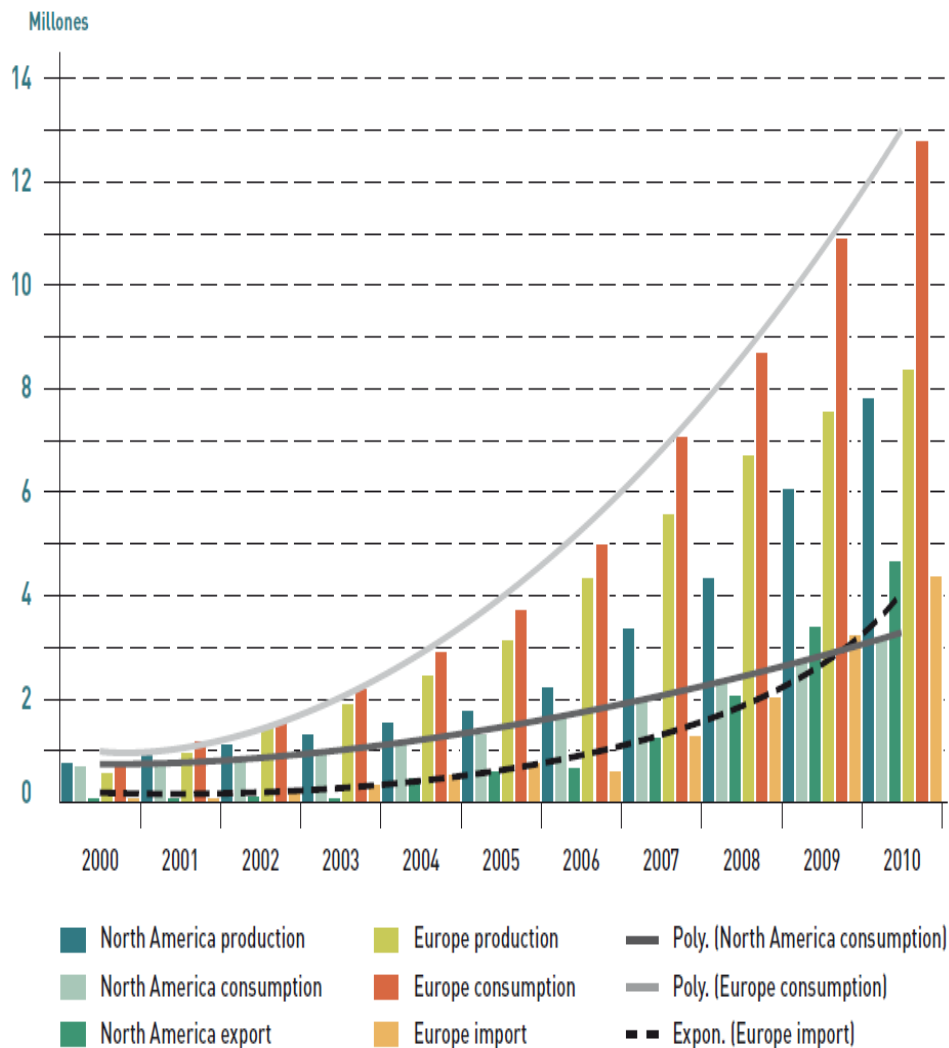


Gráfico 4.1. Evolución mundial del mercado de pelets. Fuente: IDAE.

La asociación AVEBIOM, a través de su revista “The Bioenergy International” en su número de abril del 2011, publicó un artículo sobre el mercado de los pelets, el cual resumimos a continuación:

La capacidad de producción mundial de pelets supera ya los 30 millones de toneladas al año, lo que equivale a un potencial energético de 144 TWh. Y la inversión en nuevas plantas sigue aumentando.

En 2010 y 2011, Bioenergy International contabilizó 650 plantas de pelets en todo el mundo, algunas dirigen su producción a la fabricación de pelets para cama u apoyo para animales, pero casi la totalidad producen pelets con fines energéticos. Las plantas pueden estar aprovechando el 100% de su capacidad de producción, si así lo requiriese el mercado, y en caso d época demanda, producir en un % inferior al máximo instalado.

Se observa la progresiva integración de grandes compañías en el negocio, pues ya existen 81 plantas con una capacidad superior a 100.000 t/año, y en total suman una capacidad

de producción de 13 millones de toneladas, y existen proyectos en curso de plantas gigantescas, con capacidad de 900.000 t/año, como Vyborskaya en Rusia.

Las 515 plantas contabilizadas con capacidad inferior a 100.000 t/año y un potencial productivo de 17,6 millones de toneladas de pelets al año. En total, la capacidad global que recoge Bioenergy International, es de 30,6 millones de toneladas equivalente a 144 millones de Mwh, y que aproximadamente equivaldrían a 14 millones de metros cúbicos de petróleo.

En lo que respecta a España, en el último año (2010) se han terminado de construir varias fábricas de tamaño medio – grande (aquellas que superan las 10.000 t/año de capacidad), y en total se han contabilizado 32 plantas de entre 10.000 y 60.000 t/año de capacidad, a las que hay que añadir un número indeterminado de pequeños productores, en su mayoría relacionados con carpinterías, aserraderos etc. Aunque España ha aumentado su capacidad de producción y ya supera las 800.000 t/año, no ha ocurrido lo mismo con la producción la cual se mantiene en 50.000 t/año.

Según el presidente de Apropelletts (Carles Vilaseca), el 60% de la producción nacional de 2010 se exportó a Italia, un mercado que cuenta con 750.000 estufas de pelets. Según Carles Vilaseca, una de las razones por las que aun no ha despegado del todo el consumo de pelets en España es el precio relativamente bajo del gasóleo para calefacción (unos 20c€/l) más barato que en Italia, el alto precio de las estufas de pelets, y la competencia con otros biocombustibles más baratos como el hueso de aceituna o la cáscara de almendra.

Los datos del PER, como ya se indicó, establece que en 2020 España deberá generar 4.850.000 toneladas equivalentes de petróleo a partir de biomasa.

El fuerte potencial que tienen montes de España (potencial del cual solo aprovechamos el 29 %), hace pensar que las fábricas españolas puedan llegar a producir 1millón de toneladas anuales en el 2020. Para que toda esa producción, o al menos gran parte de la misma, sea consumida en España, será necesario una correcta información sobre las ventajas de los biocombustibles. A pesar de las dificultades, el presidente de Apropelletts afirmó que la biomasa es un buen negocio.

La consultora finlandesa Pöyry estima que el mercado europeo de los pelets se incrementará hasta los 15 millones de toneladas para el 2015, y que será crucial para la biomasa, mantener una capacidad de compra competitiva frente a las industrias que utilizan la misma materia prima, como la de los tableros de partículas y empresas papeleras.

#### 4.6. El proceso de peletización.

- Introducción:

El peletizado consiste en aplicar presión sobre un material, en este caso lignocelulósico, mediante una serie de rodillos (de uno a seis) situados en una matriz metálica dotada de orificios de salida de calibre variable (de 5 mm. a 25 mm.) La presión ejercida por los rodillos unida al rozamiento del material con la matriz y sus orificios de salida provoca su calentamiento y aglomeración forzada del material.

El proceso consiste en alimentar una gran prensa cilíndrica con los residuos biomásicos previamente acondicionados (secados y triturados) con una granulometría adecuada (de 0,5 mm. a 15 mm.). A la salida de los orificios existen unas cuchillas que cortan según la longitud deseada, normalmente entre 35 mm. y 65 mm.

Para obtener el producto final, el pelet, la madera ha de pasar por una serie de fases que permitan obtener biomasa densificada.

El proceso de peletización viene siendo utilizado desde hace décadas para la producción de pienso para animales, a partir de diferentes harinas y compuestos.

El proceso para densificar pienso para animales, es muy parecido al proceso que se usa en la actualidad para obtener biomasa densificada, sin embargo, el pelet es más complicado de obtener, puesto que para una correcta combustión y aprovechamiento de la caldera, es importante que el producto obtenido tenga una humedad reducida, y que sea homogéneo.

El disponer de una maquinaria adecuada para el proceso de secado, compactación etc. marca la diferencia entre un pelet de calidad (del tipo A1) y un pelet de baja calidad (del tipo B).

En el proceso de compactación no será necesario añadir ningún tipo de aditivo, ya que los componentes de las paredes celulares de la madera actúan como aditivos y ayudan en el proceso de densificación.

- Etapas del proceso de peletización:

El proceso de peletización viene siendo utilizado desde hace décadas para la producción de piensos para animales a partir de diferentes harinas y compuestos. El mecanismo utilizado para la producción de pelets es muy parecido al que se utiliza para la producción de piensos para animales, no obstante tienen una dificultad o complejidad, que es la necesidad de obtener la mayor homogeneidad posible en el producto obtenido, así como unos límites de humedad y tamaño establecidos en función de la calidad del pelet que se desea obtener.

La diferencia entre un pelet de calidad y otro que no sea de calidad, hace triunfar o fracasar al producto. Un pelet de baja calidad utilizado en instalaciones de calefacción domésticas, que requieren pelets de gran calidad, puede dañar la instalación, así como producir exceso de humos, cenizas etc.

En el proceso de densificación, no será necesario que utilicemos ningún componente aditivo, puesto que los propios componentes lignocelulósicos actúan como pegamento en el proceso de prensado, otorgando al pelet compactación y consistencia, además así se evita alterar las propiedades de la madera con agentes externos.

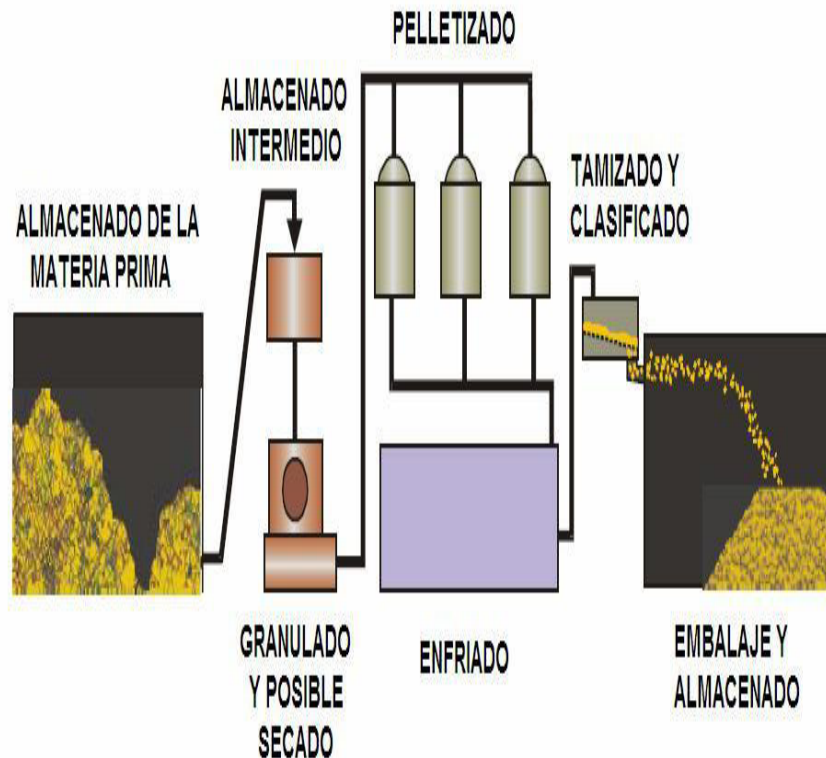


Figura 4.7. Fases del proceso de peletización. Fuente Jornadas Forestales de Entre Ríos.

### 1. Preparación de la materia prima.

El uso de biomasa forestal necesita una serie de tratamientos y operaciones físicas y de acondicionamiento, esta son:

- Almacenamiento de la madera.

Consiste en el ingreso y recepción de la materia prima, la cual es clasificada y almacenada en silos, o en almacenes de techo cerrado, procurando así aislarlos y que la materia prima no se vea contaminada por agentes externos.



**Figura 4.8. Almacenamiento de la madera previo al proceso de peletizado.**

**Fuente: Autoría propia.**

- Criba de la maderal.

Una vez obtenida la madera del monte, esta sufre una serie de transformaciones, para la obtención de diversos productos semielaborados. Estas transformaciones generarán un 10% de serrín, y un 4% de corteza en el aserradero (datos experimentales obtenidos por el aserradero Ebaki, y la empresa Enerpellet), y una serie de virutas u trozos de mayor tamaño en la fabricación de muebles tableros etc.

El serrín limpio, que será el que utilizará la planta para la producción de pelets, así como astillas y las virutas o trozos de mayor tamaño, tienen un 50% de humedad, y un tamaño medio de partícula de unos 10 u 11mm., pasarán por una criba que limite su tamaño.

Las partículas que cumplan este requisito serán dirigidas al secadero de banda para reducir su contenido en humedad, mientras que las que no superen la criba, serán dirigidas al molino de humedo donde se reducirá su tamaño hasta los 6mm.

## 2. Primer triturado de la madera.

La molienda se realiza normalmente mediante un molino de martillos, y su función consiste en reducir el tamaño de la materia prima con un 50% de humedad hasta pocos milímetros (6 mm).

La importancia de esta etapa reside en que una adecuada molienda permite un alto grado de compactación y, al mismo tiempo, reduce la producción de finos.

Aquellas partículas que no pasen la criba, pasarán por el molino de martillos para reducir su tamaño hasta unos 6 mm, y luego serán reconducidos a la criba para su posterior secado.

## 3. Secado de la madera.

El secado es una de las fases mas importantes, puesto que conseguir un nivel de humedad adecuado puede hacer que la planta tenga éxito o fracase. La humedad influye en el poder calorífico del pelet, en su fragilidad, y en el rendimiento de la caldera en la cual tendrá lugar la combustión del pelet, por ello la humedad es uno de los parámetros más importantes del proceso y el que más hay que controlar.

El proceso de secado al que será sometida la materia prima puede ser mediante secado natural o secado forzado.

- Secado natural.

Este sistema se basa en el aprovechamiento de las condiciones favorables que nos ofrece el medio ambiente que posibiliten la deshidratación de los residuos almacenados y obtener unos niveles de humedad que posibiliten el proceso de conversión en energía.

Sin embargo, como ya se explicó, con este tipo de secado, se conseguiría una humedad mínima entorno al 25 % tras almacenar la materia prima durante más de un mes (datos proporcionados por la empresa Enerpellet), y no es rentable ni práctico.

- Secado forzado.

Para obtener una humedad inferior al 10%, será necesario un proceso de secado forzado.

Este proceso consiste en la aportación de calor a través de un flujo térmico, que puede ser de agua caliente, mediante un intercambiador de calor, o mediante una corriente de aire caliente, permitiendo así la deshidratación de la madera hasta los niveles exigidos. Los equipos utilizados en secado forzado se clasifican en:

- Secadores directos: la transferencia de calor es por contacto directo entre el material húmedo y el aire caliente.





- Secadores indirectos: La transferencia de calor se realiza a través de una pared de retención.

El secado no puede ser la fase final antes del peletizado, ya que si al secadero de banda llegan partículas con el 50% de humedad, y otras con el 10% de humedad, tras el secado, una partícula perderá casi el 50% de su tamaño y la otra el 10%, produciendo así partículas de tamaños diferentes, y lo que necesitamos son partículas homogéneas.

Por esta razón tras el secado, se somete a las partículas a un segundo triturado y una segunda criba, para garantizar su tamaño final, que será como máximo de 3mm.

<sup>6</sup>La madera de entrada tendrá una humedad entorno al 50 o 40% o entorno al 20-25% dependiendo del tiempo que haya sido almacenada, y esta se someterá a un proceso de secado forzado para reducir su humedad. Tras el secado, las partículas han de tener una humedad entre el 11 O 10%.

La humedad exigida por la normativa Enplus es menor al 10%, pero no sería correcto obtener esa humedad a la salida del secadero de banda, puesto que en el posterior proceso de molienda se perderá un 0,3% de humedad, y durante el proceso de peletización las partículas pueden llegar a perder entre el 2 y el 3% de su humedad, obteniendo así la humedad requerida por la normativa Enplus.

En la actualidad, predominan dos tipos de secado forzado:

1. Secado de banda a baja temperatura.
2. Secado directo con trómel.

#### **4. Segundo triturado.**

Tras el secado de la madera, todas las partículas serán homogéneas, y se las somete a un segundo triturado, que reduzca su tamaño hasta un máximo de 3 mm.

#### **5. Peletizado o prensado.**

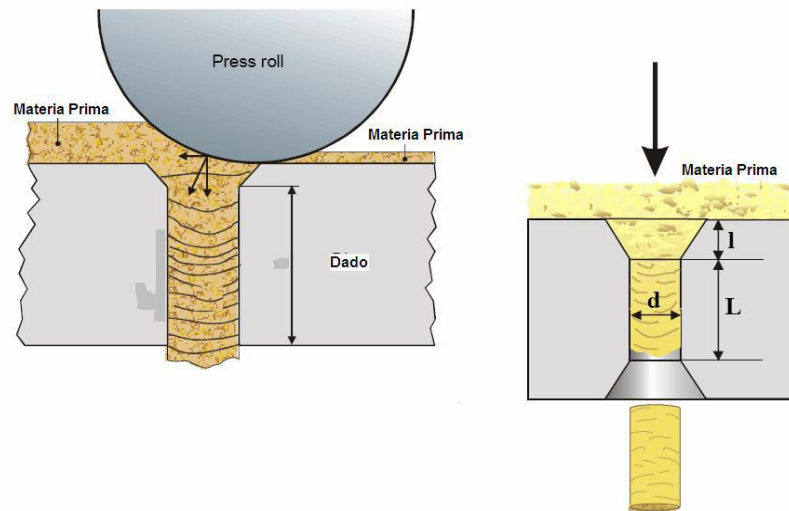
El proceso de peletización efectúa un trabajo de compresión en el producto de forma continua, reduciendo el volumen de la materia prima de 3 a 5 veces.

En el proceso se comprime la materia y se transforma en un pelet sólido de unos 6mm de diámetro y entre 25 y 30 mm de longitud a una temperatura de salida de 80°C. Este proceso le proporciona compactación y una apariencia brillante, como si estuvieran barnizados.

---

<sup>6</sup>Fuente: Enerpellet y Pelletasturias.





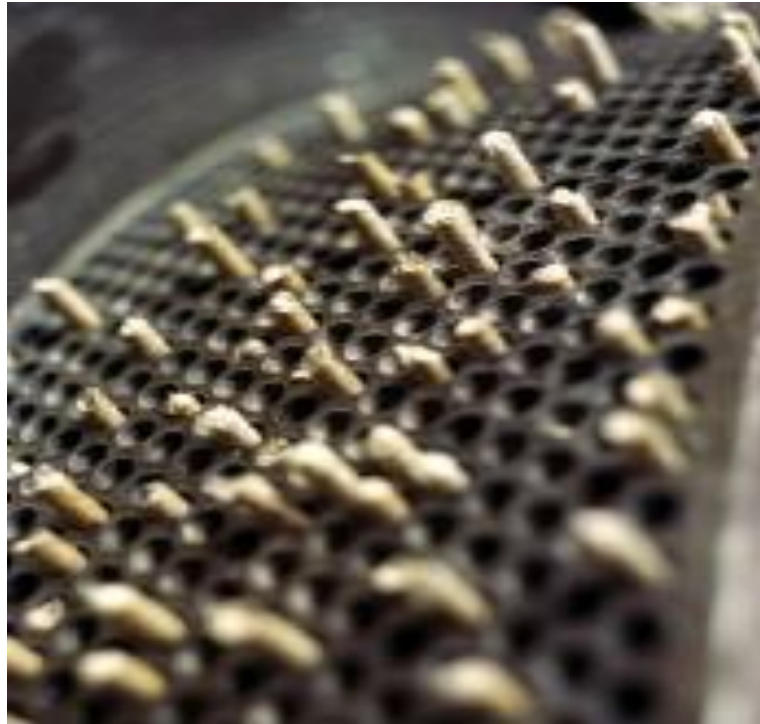
**Figura 4.9. Proceso de peletización, prensado de la madera.** Fuente Jornadas Forestales de Entre Ríos 2006.

Es la fase principal y en ella la materia prima debe estar perfectamente acondicionada. Consiste en aplicar presión mediante unos rodillos situados en la matriz metálica con orificios de salida con el tamaño del material a obtener.

A la salida del orificio, una cuchilla corta el pelet proporcionándole la longitud requerida, normalmente de unos 25 o 35 mm. Se compacta el triturado conseguido en la fase anterior para formar pelets sin aditivos. El material entra en la prensa con un contenido de humedad del 11 o 12%, regulado mediante sensores higrométricos situados a la entrada de la cámara de compresión, y a la salida, su contenido en humedad de habrá reducido entre el 2 y el 3%, cumpliendo así con la humedad requerida por la norma EN plus.

El pelet en la prensa podrá alcanzar una temperatura de unos 100°C y a la salida tendrá una temperatura de unos 80°C. Las altas temperaturas que se alcanza, permiten la compactación de las partículas, creando un cuerpo compacto. El pelet ha de tener forma cilíndrica, ser compacto denso y homogéneo.

La máquina peletizadora genera pelets de forma cilíndrica con un diámetro variable de 6-20 mm y una longitud de 20-60 mm, en función de la matriz utilizada y el corte especificado. En ocasiones, una misma planta produce distintos tipos de pelet en función de la demanda y la materia prima disponible. La matriz puede ser plana o anular, variando la capacidad de producción entre 300 y 5.000 kg/h normalmente.



**Figura 4.10.***Proceso de peletización, prensado de la madera.* Fuente Jornadas Forestales de Entre Ríos 2006.

## **6. Enfriado.**

El pelet a la salida de la prensa, tiene una temperatura de unos 80°C que hacen que el pelet sea frágil y propenso a la formación de hongos, por lo que será necesario incorporar un sistema auxiliar de enfriamiento.

La etapa de enfriamiento del pelet va a proporcionarle consistencia y dureza, características fundamentales para las etapas posteriores de envasado y transporte. Hay dos formas de realizar el enfriamiento.

- El proceso de enfriamiento puede realizarse introduciendo aire forzado mediante ventiladores en la tolva donde los pelets caen, y es preciso dejar reposar el pelet hasta obtener las características adecuadas.
- Enfriadores de contra flujo.

Que proporcionan una corriente de aire frío en sentido contrario a la caída del pelet para así reducir su temperatura y evitar los riesgos antes descritos.

## **7. Tamizado y Clasificado.**

En el tamizado el polvo de la materia prima, mezclado entre los pelets, es separado y devuelto al proceso de peletizado. El tamizado y clasificado es usualmente realizado con un tamizador con sistema de vibrado para asegurar un producto homogéneo para evitar que no cause problemas en el manejo y traslado del producto, como en los equipos de combustión.

Tras el peletizado y el enfriado, los pelets pasarán por una criba justo antes de su envase. Esto se debe a que tras los procesos citados anteriormente, pueden existir partículas que no se hayan compactado de forma adecuada, o que se hayan roto durante el enfriado o en la propia cinta transportadora.

Estos restos mal compactados o rotos, que no pasen la criba, serán reconducidos mediante un tornillo sinfín al molino anterior a la prensa, previamente habrá que inyectarles agua para aumentar su humedad, pues estos restos poseen una humedad inferior al 10% y un nuevo paso por el molino y la prensa podría quemarlos o dejarlos excesivamente frágiles.

## **8. Envasado.**

Una vez enfriados los pelets, y tras pasar por la criba, se envasarán los pelets de manera automática en sacos de 15Kg. Según la empresa Enerpellet, cerca de un 85 u 90% de los pelets adquiridos son en formato de bolsas de 15 Kg., por lo que la producción de la planta estará dirigida en un 85-90% a este tipo de envase.

Los pelets que se comercialicen a granel serán cargados directamente en camiones para su reparto, o se almacenarán en silos para su posterior distribución.

## **9. Almacenaje.**

Tras en el envasado, los sacos de 15 Kg. se almacenarán en palets, irán mediante cinta transportadora.

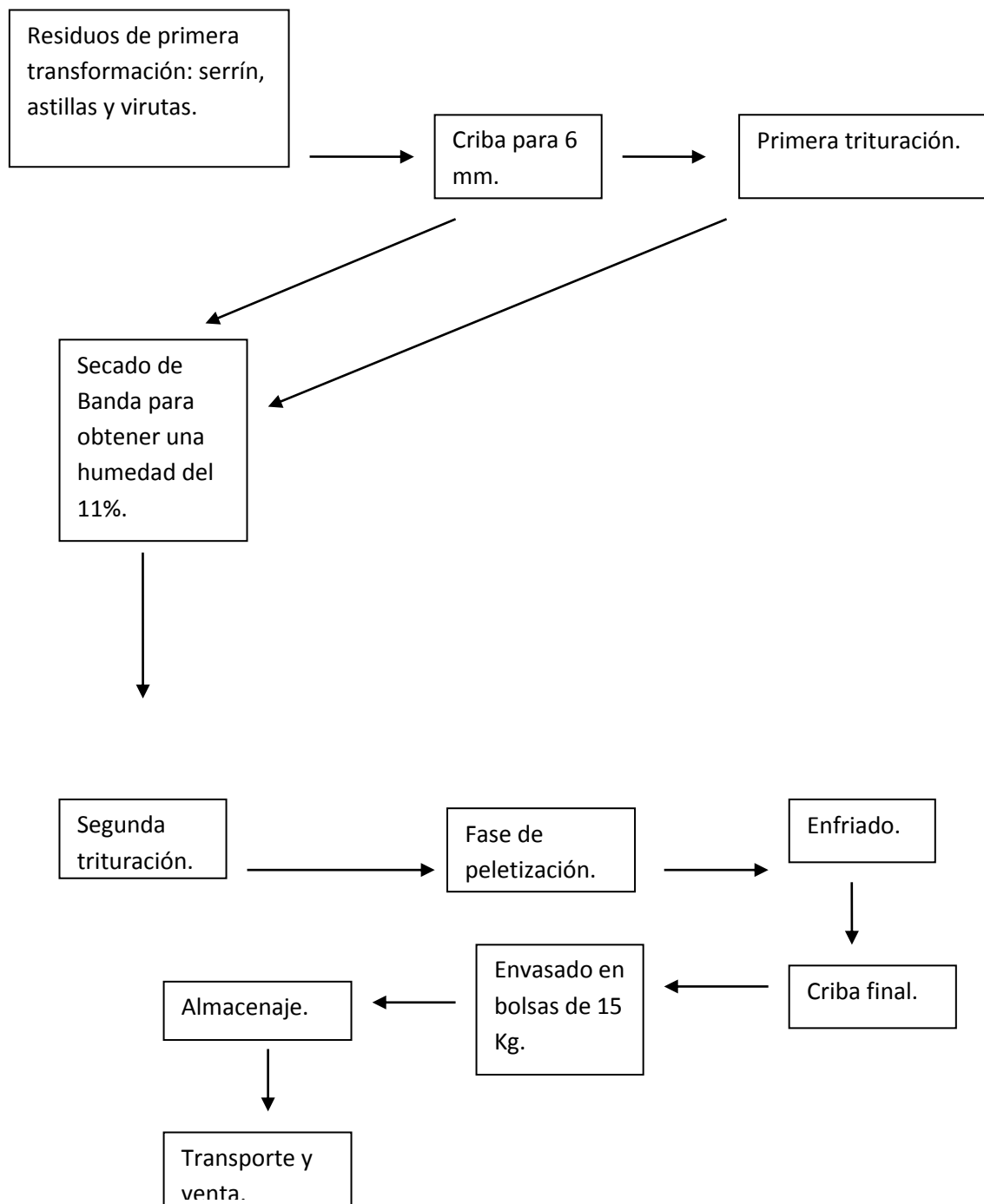
La planta dispondrá de un lugar adecuado para el almacenaje de los sacos de pelets en pallets.

Este lugar debe conservar las propiedades del pelet obtenido, evitando que se rasgue la bolsa, y de esa forma se pierda la homogeneidad obtenida, y procurando que el almacén tenga temperatura y humedad constante.



**Figura 4.11. Transporte mediante cinta transportadora de pelet empaquetado.**  
Fuente: Enerpellet.

Diagrama del proceso:



#### 4.7. Calidad y certificación del pelet.

- Introducción:

El tipo de pelet y su calidad es fundamental para que la empresa tenga éxito, ya que factores como homogeneidad, humedad etc... Influyen en el rendimiento de la caldera y o instalación, así como en la durabilidad de la misma. Se recomienda el uso de pelets de gran calidad, para así poder obtener el máximo rendimiento de la caldera y conseguir que la duración de la misma sea máxima, rentabilizando así la inversión. El pelet de gran calidad es aquel de clase A1 que obtiene la certificación de la normativa EN 14961-2.

Para poder obtenerlo, es necesario el uso de residuos de madera que no hayan sido tratados químicamente. No se incluirá la corteza del árbol, puesto que el tronco, al caer, ser arrastrado etc...hace que partículas ubicadas en el suelo, como la tierra, se adhieran a la madera, y se pierda la homogeneidad y calidad buscada.

El pelet que se obtiene, tendrá forma cilíndrica, con unas características definidas según la normativa a emplear, que en nuestro caso será la normativa ENplus A1. Esta elección se debe a que nuestro objetivo es producir pelets de gran calidad para su uso en instalaciones pequeñas, como pueden ser viviendas o recintos. Este uso podrá ser en forma de calefacción, agua caliente etc. y las calderas y estufas destinadas a ese uso, requieren de pelets de gran calidad para su mejor eficiencia y mantenimiento.

Resumen de las características técnicas del pelet.

- Densidad promedio ( $700 \text{ kg/m}^3$ ) muy superior a la de los combustibles no prensados de madera como las astillas (aproximadamente  $200\text{-}300 \text{ kg/m}^3$ ). La elevada densidad les proporciona una ventaja de cara al transporte y al almacenamiento. Por otro lado, presentan una alta durabilidad, por lo que no se deterioran en su manejo.
- Bajo contenido de humedad, en torno al 6-8 %.
- Elevado poder calorífico que depende de la materia con la que están hechos pero que, en la mayoría de los casos, alcanza valores en torno a  $4.000 - 4.500 \text{ kcal/kg}$ , debido a su alto grado de compactación y a su bajo contenido en humedad. Dos kilogramos de pelets equivalen aproximadamente a un litro de gasóleo.
- Combustible económico.
- Bajo contenido en cenizas (en torno al 0,5 %), por lo que se reducen las operaciones de limpieza y mantenimiento de los equipos.
- Debido a su tamaño fino, tienen una alta superficie específica, lo que minimiza la temperatura de encendido, optimiza las fases de la combustión y permite una combustión más limpia.

- Debido a su forma, tamaño y composición, los pelets son un combustible especialmente indicado para aplicaciones domésticas y residenciales por los elevados requerimientos que se les exige en su producción, uso y almacenamiento.

#### Certificación y calidad.

- AVEBIOM ha promovido la implantación del sistema de certificación ENplus® en España y ya se encuentra operativo.

Para ello, AVEBIOM, ha completado una serie de guías y manuales para ayudar a los productores y comercializadores que quieran certificar la calidad de su producto

- En España, AVEBIOM ya ha sido contactada por alrededor de 20 empresas que se han mostrado interesadas en el proceso de certificación de las cuales, 15 son productores que representan el 35% de la capacidad de producción española instalada.

De hecho, en España cuenta ya con mas de un productor certificado, como es el caso de Pellets Asturias que ya han pasado la auditoría documental con éxito y ha obtenido una calidad ENplus A-1 en los análisis químicos. Las previsiones de Christian Rakos, presidente del European Pellet Council, estima que aproximadamente el 30% de toda la producción Europea estará certificada a finales de 2011.

- La certificación en el ámbito internacional.

Actualmente en Austria y Alemania ya lleva un tiempo funcionando la certificación ENplus® con un 50 y 60% respectivamente de la capacidad de producción certificada. Tras ellos, otros países europeos como Finlandia e Italia tienen la implantación del sistema bastante avanzada y les falta poco tiempo para realizar las primeras auditorías. Otros como Portugal y Francia están dando los primeros pasos en la implantación del sistema.

La implantación de esta certificación de calidad es sin duda un paso muy importante que va a proporcionar madurez y credibilidad al mercado internacional de los pelets de madera y como consecuencia un impulso al mismo.

En esta dirección, Christian Rakos, comentaba: "Si queremos fortalecer el sector de la calefacción con pelets en Europa, tenemos que hablar de un nivel de calidad uniforme internacionalmente.

ENplus® ofrece estandarización a través de la aplicación de la norma europea correspondiente y, además, ENplus® también incluye a los comerciantes de pelets en la certificación. En consecuencia, se asegura al usuario final una calidad sin precedentes y una calefacción sin problemas".

Rakos espera que aproximadamente el 30% de la capacidad total de producción europea de pelets se ENplus certificada en el año 2011.



- Calidades dentro de la certificación:

El sistema de certificación de la calidad ENplus® se basa en la norma Europea EN 14961-2 la cual se refiere a los pelets de madera para uso no industrial. En ella se dividen a los pelets de madera en tres calidades: La clase A1 representa pelets de madera virgen y residuos madera sin tratar químicamente, con bajos contenidos en cenizas, nitrógeno y cloro. Los combustibles con un contenido ligeramente más alto en cenizas, nitrógeno y/o cloro estarán dentro de la clase A2. En la clase B se permite utilizar también madera reciclada y residuos industriales aunque en ambos orígenes no se acepta maderas que hayan sido tratadas químicamente y de hecho hay valores máximos muy estrictos para los metales pesados.

El sistema ha sido desarrollado por la Asociación Alemana del Pellet (DEPV) y por la Asociación Austriaca de productores de Pellets (Pro Pellets Austria). Los derechos de la marca ENplus los posee el European Pellet Council (EPC) y cede en cada país los derechos a cada Asociación nacional (Avebiom en el caso de España).

El EPC es la voz común del sector europeo de pelets. Fue fundada en julio de 2010 bajo el paraguas de la Asociación Europea de Biomasa AEBIOM y en la actualidad agrupa a 12 asociaciones nacionales de pelets y de bioenergía representando a los productores de pelets, calderas y fabricantes de equipos. El principal objetivo del EPC es la promoción del uso de los pelets en Europa y la introducción de medidas para asegurar la calidad y seguridad.

El tipo de residuo de madera que utilicemos para la elaboración de los pelets determinará su calidad, su poder calorífico, su contenido en humedad permitido etc.

Hasta el año 2010, cada país elaboraba sus propias normas de certificación y calidad para el uso de pelets, sin embargo, desde el año 2011 se ha creado una norma común para certificar los pelets, esta se denomina ENplus y clasifica el tipo de pelet según uso características etc.

El objetivo del sistema de certificación para pelets de madera es asegurar el suministro de pelets de madera de calidad claramente definida y consistente para usos térmicos.

Con el objetivo de garantizar un nivel constante de alta calidad de los pelets de madera entregados, no solo los pelets de madera fabricados serán certificados en el ámbito de aplicación de este sistema, sino también los procesos necesarios para su producción y logística. Como resultado, los aspectos de certificación de un producto se combinarán con los de un sistema de certificación.

Con las clases ENplus-A1 y ENplus-A2, así como con la clase EN-B, se definen tres calidades de pelets de madera basadas principalmente en las especificaciones de la norma europea EN 14961-2 “Biocombustibles sólidos- Especificaciones y clases de combustible- Parte2: pelets de madera para usos no industriales”.



El sistema de certificación contiene los siguientes puntos esenciales:

- Requisitos para la producción y garantía de calidad de pelets de madera.
- Requisitos para el producto (EN 14961-2).
- Requisitos para el etiquetado, logística y almacenamiento intermedio.
- Requisitos para la entrega a los consumidores finales.

En las siguientes tablas se explican los tipos de madera requerida según calidad, y las características técnicas del pelet según calidad.

ENplus-A1	ENplus-A2	EN-B
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Madera de fuste.</li> <li>• Residuos de la industria de la madera no tratados químicamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Árboles enteros sin raíces.</li> <li>• Madera de fuste.</li> <li>• Residuos de la tala.</li> <li>• Corteza.<sup>1</sup></li> <li>• Residuos y subproductos de la industria de la madera no tratados químicamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forestal, plantaciones y otras maderas no usadas ni tratadas.</li> <li>• Residuos y subproductos de la industria de la madera no tratados químicamente.<sup>2</sup></li> <li>• Madera reciclada no tratada químicamente.<sup>3</sup></li> </ul>

**Tabla 4.1. Tipos/órigenes de maderas que se permiten utilizar para cada clasificación de calidad.**

<sup>1</sup> De aserraderos y actividades relacionadas con la industria del corcho.

<sup>2</sup> En la clase EN-B, la madera tratada químicamente no está permitida. En Austria, Alemania, Francia, Italia y España el uso de esta madera está restringida por la legislación.

Los residuos tratados químicamente del procesado de la madera, producción de paneles y muebles (encolados, pintados, laminados, lacados u otros tipos de madera tratada o reciclada, están incluidos en la norma EN 14961-2, en tanto que no contengan metales pesados o compuestos orgánicos halogenados debido a los tratamientos de protección o laminados.

<sup>3</sup> La madera de demolición está excluida. La madera de demolición es madera reciclada proveniente de demolición de edificios u otras obras civiles.

La siguiente tabla nos muestra los parámetros que definen el pelet y su calidad.

Propiedad	Unidades	ENplus-A1	ENplus-A2	B	Metodología de análisis
Clase de diámetro (D)	mm.	6 (±1) o 8 (±1) <sup>2</sup>			EN 16127
Longitud (L)	mm.	3.15 ≤ L ≤ 40 <sup>3</sup>			EN 16127
Humedad (M)	a.r., Peso-% b.h. <sup>1</sup>	≤ 10			EN 14774-1 o 2
Ceniza (A)	Peso-% b.s. <sup>1</sup>	≤ 0.7	≤ 1.5	≤ 3.0	EN 14775 (550 °C)
Durabilidad mecánica (DU)	Peso-% a.r. <sup>1</sup>	≥ 97.5 <sup>4</sup>		≥ 96,5 <sup>4</sup>	EN 15210-1
Finos, F (< 3.15 mm)	Peso-% a.r. <sup>1</sup>	<1			EN 15210-1
Aditivos	Peso-% b.s. <sup>1</sup>	≤ 2 peso-% tipo y cantidad pendientes de fijar			ver 8.4 del manual
Poder calorífico neto (Q)	MJ/kg a.r. <sup>1</sup>	16.5 ≤ Q ≤ 19 <sup>5</sup>	16.3 ≤ Q ≤ 19 <sup>5</sup>	16.0 ≤ Q ≤ 19 <sup>5</sup>	EN 14918
Densidad (BD)	kg/m <sup>3</sup>	≥ 600			EN 15103
Nitrógeno (N)	Peso-% b.s. <sup>1</sup>	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 1.0	EN 15104
Azufre (S)	Peso-% b.s. <sup>1</sup>	≤ 0.03		≤ 0.04	EN 15289
Cloro (Cl)	Peso-% b.s. <sup>1</sup>	≤ 0.02		≤ 0.03	EN 15289
Arsénico (As)	Peso-% b.s. <sup>1</sup>	≤ 1			EN 15297
Cadmio (Cd)	Peso-% b. s. <sup>1</sup>	≤ 0,5			EN 15297
Cromo (Cr)	Peso-% b.s. <sup>1</sup>	≤ 10			EN 15297
Cobre (Cu)	mg/kg <sup>1)</sup>	≤ 10			EN 15297
Plomo (Pb)	mg/kg <sup>1)</sup>	≤ 10			EN 15297
Mercurio (Hg)	mg/kg <sup>1)</sup>	≤ 0,1			EN 15297
Níquel (Ni)	mg/kg <sup>1)</sup>	≤ 10			EN 15297
Zinc (Zn)	mg/kg <sup>1)</sup>	≤ 100			EN 15297
Temperatura de fusión de las cenizas (DT) <sup>4</sup>	°C	≥ 1 200	≥ 1 100		EN 15370

<sup>1</sup> a.r.= *as received* (tal y como es recibido el material), b.h.: en base húmeda (determinaciones del combustible húmedo [max. 10 w-%] ), b.s : en base seca (análisis del combustible sin humedad).

<sup>2</sup> Clase de diámetro (D06 o D08) debe ser indicado.

<sup>3</sup> Máximo 1% de los pelets más largos de 40 mm., máxima Longitud 45 mm.

<sup>4</sup> La temperatura de fusión de las cenizas es informativa (voluntaria) en la norma EN 14961-2. Para la certificación ENplus, el límite para la temperatura debe ser observado y detectado. Para este propósito, la ceniza debe ser producida a 815 °C

<sup>5</sup> Los pelets torrefactados no están incluidos en ENplus ni en EN 14961-2. Esto es limitado poniendo el límite al poder calorífico neto *as received* en 19 MJ/kg como máximo.

Tabla 4.2. Parámetros básicos de calidad y los correspondientes umbrales. Fuente: AVEBIOM/EN-Plus.



## 5. EQUIPOS INDUSTRIALES.

### 5.1. Introducción.

El pelet, como se explicó en el capítulo IV, es un combustible densificado de forma cilíndrica, que requiere una serie de fases en la cual la materia se va transformando y acondicionando, para ello son necesarios no solo equipos que transformen la materia, si no también equipos de transporte, almacenado etc.

Para obtener un pelet de calidad, es necesario seleccionar una serie de equipos con unas dimensiones y características determinadas. Estos equipos se pueden clasificar en:

- Equipos de transformación o proceso:

Es el conjunto de equipos destinados al proceso de transformación del residuo inicial en el producto final, el pelet. Estos equipos son:

- Equipo de molienda/trituradora.
- Equipo de secado.
- Equipo de mezclado o acondicionado.
- Equipo de peletizado.
- Equipo o sistema de refrigeración.

- Equipos de almacenamiento y dosificación:

Es el conjunto de equipos y o recintos destinados a almacenar la materia prima previa a su tratamiento y entre las distintas etapas de transformación.

- Tolva receptora sobre el equipo de triturado.
- Tolva sobre el equipo de secado.
- Tolva sobre el equipo de ensacado.
- Silos de almacenamiento.
- Recinto dentro de la planta ó depósito tipo silo para almacenar la materia prima recibida.



- Transportes internos.
  - Tornillos sin fin o cintas transportadoras.
  - Equipos de carga/ descarga.
  - Elevador de cangilones.
- Estructuras y accesorios:
  - Estructuras soporte para los anteriores equipos.
  - Matrices, Lubricante (aceite/grasa) y rodillos para la prensa de peletizado.
  - Equipo de tamizado o criba.
  - Equipo de envasado/empaquetado.
  - Caldera industrial que suministre el calor necesario al secadero de banda.

En la actualidad existen diversas empresas capaces de proveer de la maquinaria necesaria para la planta de peletización, siendo la mayoría extranjeras.

Algunos equipos tales como equipos de carga y descarga, podrían ser obtenidos de 2ª mano para así abaratar el coste de maquinaria, sin embargo los equipos destinados a la transformación propia de la materia (equipos de transformación), deberán ser elegidos por su calidad y capacidad de producir un producto homogéneo, ya que de ello depende la calidad del pelet final y en consecuencia el éxito de la planta.

## 5.2. Equipos de proceso.

Conjunto de equipos destinados al proceso de transformación del residuo inicial en el producto final, el pelet.

- **Equipo de molienda/triturado.**

El aserradero se encarga de transformar la madera recién llegada del bosque, esto es, tras su tala, es una industria de 1ª transformación. Durante esta 1ª transformación, se generan residuos en forma de serrín, astillas etc. cuyo tamaño está entre los 9 y los 11mm. de diámetro, y que alimentará de forma continua a la planta de peletizado.



Estos residuos pasarán por el equipo de molienda que reducirá su tamaño de partícula hasta los 3 mm. Esta etapa podría ser realizada por un único equipo de triturado, sin embargo el uso de un único equipo sería una elección arriesgada debido a:

1. El equipo se desgastaría más rápidamente que si se usan 2 o más equipos de triturado.
2. En caso de que el equipo se encontrase averiado, se debería parar la producción.

El uso de dos equipos de triturado evitaría estos problemas, y en caso de que uno se viese averiado, se podría mantener la producción utilizando el otro equipo mientras se repara el primero.

Además será necesario un molino específico para producto húmedo, antes de la etapa de secado, y otro para el producto ya seco.

Uno de los principales problemas a los que se veían sometidos este tipo de equipos, era el impacto con elementos metálicos, así como pequeñas piedras etc. que producían la rotura del molino, e incluso pueden originar chispas durante el impacto, existiendo peligro de ignición del producto molido si este tiene una humedad baja.

Estos problemas se evitan utilizando residuos de 1ª transformación, libres de impurezas como pequeñas piedras, o partículas metálicas.

Estos equipos están provistos de varios martillos que giran sobre su propio eje, a una velocidad variable, según sea el fabricante así como el modelo, potencia instalada etc. en general han de ser equipos de gran robustez.

El principio de funcionamiento de estos equipos es el siguiente.

- El material que entra en el molino es golpeado por un conjunto de martillos girando a baja velocidad. De esta manera, se produce una primera rotura por impacto.
- Estos martillos lanzan el material contra el interior del molino, donde se encuentran una serie de placas de impacto, donde el material se rompe por segunda vez por impacto. Este proceso se repite mientras el material se mantiene en el interior del molino.
- Cuando es necesario, se equipa al molino con una serie de parrillas o cribas que determinarán el tamaño máximo de la partícula una vez molida.
- En el paso a través de las parrillas se produce una última rotura por cizalladura.

Es importante que las parrillas o cribas puedan ser extraídas fácilmente del equipo, para así permitir la rápida descarga del triturador en caso de atascamiento, ya sea por corte de electricidad, o parada anormal de la instalación.



**Figura 5.1. Molino de seco. Fuente: Prodesa.**

Existen muchas empresas que fabrican este tipo de maquinaria, algunas de las cuales se citan a continuación:

- SEGRA & TRITUSAN SL. Es una empresa española, fundada en 1992, ubicada en Barcelona y pionera en el sector agropecuario, con marcas diferentes para: Matrices/rodillos, equipos de granulación, y equipos de molienda, entre otras.
- PROMILL STOLZ. Empresa francesa, dedicada desde hace más de 50 años al diseño y producción de equipos de granulado, molienda, peletizado etc. en prácticamente todos los tipos de biomasa.
- Amandus Kahl Ibérica S.L. es una delegación del grupo alemán Kahl, creado en 1876, dedicada al diseño y fabricación de productos, maquinaria y plantas “llave en mano” para madera, paja, neumáticos, residuos urbanos etc.
- HAAS Recycling-Systems, empresa alemana dedicada a la fabricación de equipos para la madera, residuos y desechos de madera, residuos urbanos e industriales etc.



- Moinos Afau S.L. Empresa ubicada en Aragón, que representa a la californiana CPM y que además posee experiencia en plantas “llave en mano” de biomasa.
- Bruks. Compañía sueca internacional, dedicada a a la ingeniería mecánica, que desarrolla fabrica y comercializa maquinaria y sistemas para la industria de la transformación de la madera.

Esta compañía es de las pocas que fabrican equipos de molienda con partículas cuyo contenido en humedad pueda superar el 50%.

- **Equipos de secado.**

El pelet necesita tener un contenido en humedad inferior al 10%, para cual es necesario disponer de un equipo de secado forzado, que mediante la aportación de un flujo térmico permiten la deshidratación de los residuos de madera hasta 1 ó 2 puntos por encima de la humedad máxima exigida (10%), por lo que se pretende que el subproducto a su salida del secadero de banda tenga un contenido en humedad del 11% ya que en el proceso de peletizado se pierde entre un 2 y un 3% de humedad, resultando una humedad final del pelet entre el 7 y el 9%.

Estos equipos se clasifican de dos formas:

1. Según la granulometría.

- *Neumáticos o secaderos de banda.*

Están basados en el arrastre de los residuos mediante un flujo térmico que durante el recorrido extrae la humedad de los sólidos. Suelen utilizarse cuando el producto es de granulometría fina y se requiere una deshidratación ligera.

- *Secaderos rotatorios.*

Los secaderos rotatorios se suelen utilizar cuando se trabaja con materiales muy húmedos y de granulometría gruesa.

Fundamentalmente constan de las mismas partes que en el caso anterior; si bien en estos equipos el canal de circulación es un cilindro que gira con velocidad variable, facilitando un contacto íntimo entre los sólidos y el flujo secante. El tambor está dotado interiormente de espas, paletas o tornillos sinfín., que permiten regular el fijo de sólidos y garantizar una adecuada exposición de la superficie de la materia al flujo térmico.

Pare reducir la longitud de los secaderos rotatorios, éstos se construyen con doble o triple paso.

2. Según el flujo de la corriente, esto es, la relación entre el flujo másico y el flujo térmico.

- Secaderos de corrientes paralelas unidireccionales.

El flujo de gas y producto discurre en el mismo sentido. En este caso, el gas se va cargando de humedad durante todo el recorrido, al final del secadero el gas puede llegar a estar saturado de agua, con lo que la eficacia de secado disminuye.

- Secaderos a contracorriente.

Los flujos de gas y sólido viajan en sentidos distintos. De esta manera los sólidos según avanzan van encontrando un ambiente cada vez más seco y de mayor temperatura, con lo que la deshidratación es más eficaz y constante ya que cuanto menor es el contenido de agua en la materia más energía térmica se requiere para extraer la misma cantidad de agua.

En la actualidad se utilizan equipos de secado tipo trómel y secado de banda de baja temperatura.

1. Secado de banda a baja temperatura.

El secado de banda a baja temperatura es una tecnología que permite utilizar energías residuales de otros procesos como aire caliente (directo), agua caliente o vapor (indirecto). Además, al trabajar con bajas temperaturas es posible mantener las propiedades tanto físicas como químicas del producto.

Esto es una ventaja especialmente en el sector de la madera para la posterior producción y venta de pelets de alta calidad.



**Figura 5.2. Secado de la madera mediante secado de banda a baja temperatura.**

Fuente: Prodesa.





**Figura 5.3. Secado de la madera mediante secado de banda a baja temperatura.**  
Fuente: Prodesa.



**Figura 5.4. Secado de la madera mediante secado de banda a baja temperatura.**  
Fuente: Prodesa.

El proceso es el siguiente: El producto húmedo (1) se distribuye uniformemente sobre la banda transportadora mediante una rosca de alimentación (2).

La banda transporta la capa de producto a lo largo del túnel de secado, hasta la primera rosca de descarga (3). Mediante otra rosca transportadora, el producto se recircula hasta la segunda rosca de alimentación (4) que deposita de nuevo el producto en la banda, formándose una segunda capa de producto. Tras pasar por segunda vez por el túnel de secado, el producto seco se extrae del sistema mediante la segunda rosca descarga (5).

Trabajando con este sistema de doble capa de producto se consigue una máxima saturación del aire de secado y consecuentemente una máxima eficiencia energética.

Mediante la medición de la humedad del producto seco final se controla la velocidad de avance de la banda transportadora. La capacidad de secado y por tanto el paso de producto a través de la banda, depende de la energía disponible.

Mediante un ventilador (7), el aire ambiente pasa a través de un intercambiador aire-agua donde se calienta antes de atravesar la banda de secado y producir la evaporación del agua contenida en el producto. La capacidad del ventilador se ajusta mediante un convertidor de frecuencia de acuerdo a la energía disponible en el intercambiador de calor.

Para asegurar una óptima operación del sistema, la banda se limpia continuamente mediante un cepillo rotativo (8) y un sistema intermitente a alta presión que se activa automáticamente (9).

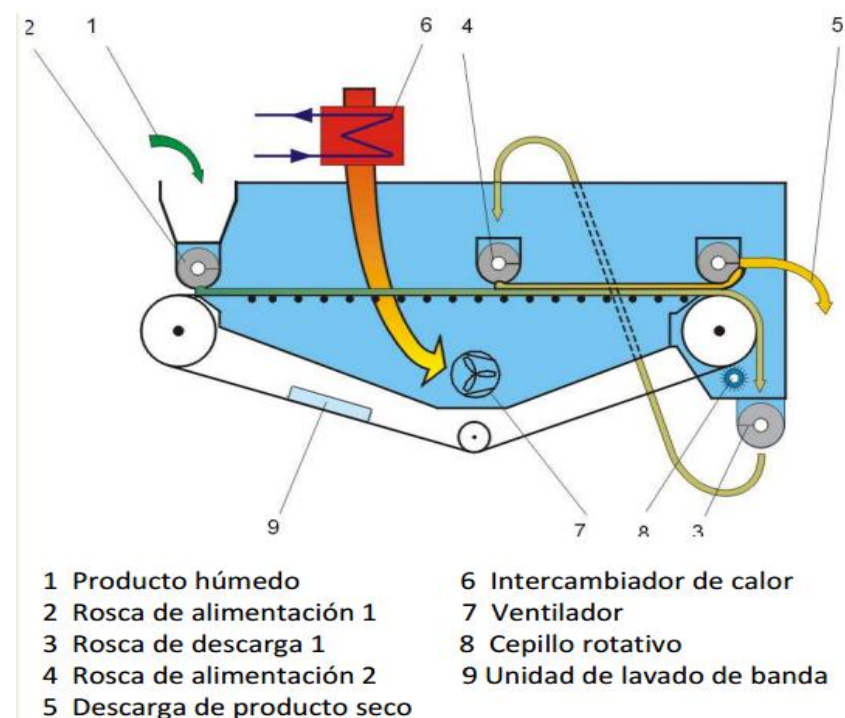


Figura 5.5. Diagrama del funcionamiento del secado de banda. Fuente: Prodesa.

Ventajas del secado de banda:

- Uso de energía residual a baja temperatura, lo que permite asociar el secado de banda a plantas de cogeneración como gasificación, ciclo orgánico Rankine (ORC) etc.
- Operación automática.
- Óptima calidad del producto, ya que al tratarse de un secado indirecto el aire de secado es aire limpio y no se introducen partículas desde el exterior.

Además al trabajar con bajas temperaturas se mantienen las propiedades de la madera.

## 2. Secado tipo trómel.

El secado con trómel es una tecnología de secado a alta temperatura. Es la tecnología de secado clásica por excelencia, que presenta una alta eficiencia energética. Los gases de combustión se introducen directamente en el trómel, entrando en contacto con el producto a trabajar.

A la salida del trómel se requiere un sistema de depuración de gases para separar el producto del flujo de gas y evitar así la emisión a la atmósfera de partículas, así como posibles compuestos orgánicos volátiles.



Figura 5.6. *Secadero tipo trómel*. Fuente: Prodesa.



Figura 5.7. Secadero tipo trómel. Fuente: Prodesa.

El secado directo con trómel es una tecnología de secado a alta temperatura, cuyo funcionamiento es el siguiente:

El producto húmedo (6) se introduce en el trómel (3), donde es transportado mecánica y neumáticamente al mismo tiempo que se deshidrata por medio de los gases calientes (9) que se generan en el horno (2). Las partículas ligeras se transportan rápidamente a través del trómel, mientras que las partículas más pesadas permanecen más tiempo en la corriente de aire caliente, y por lo tanto alcanzan el mismo contenido de humedad a la salida del trómel.

El producto (7) se separa de los gases de deshidratación en un cajón decantador y posteriormente en un ciclón (4). Los gases de deshidratación, junto con el agua evaporada, se emiten a la atmósfera directamente a través del ventilador principal (5).

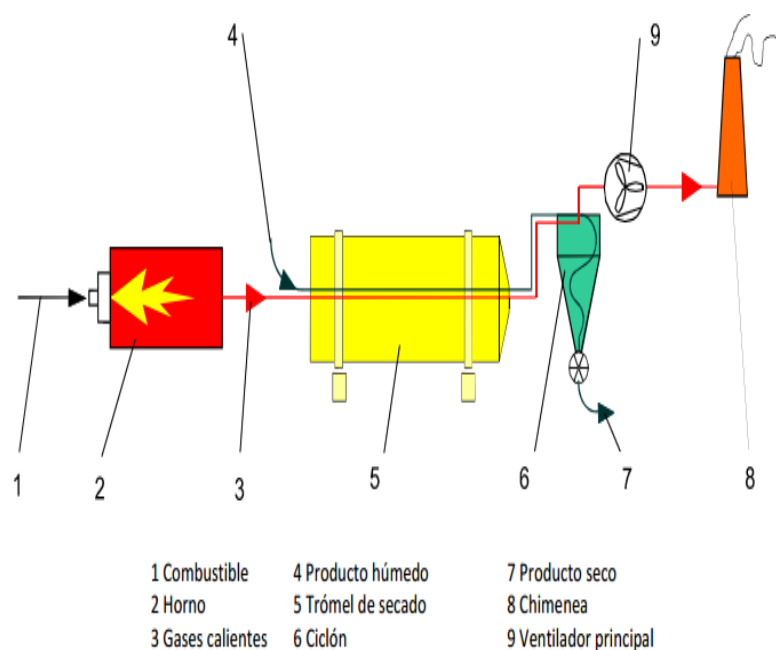


Figura 5.8. Funcionamiento del secador roatatorio tipo Trómel. Fuente: Prodesa.



El tipo de secado que mejor calidad y homogeneidad produce es el secado de banda a baja temperatura, y es el que nos permite obtener los parámetros de calidad del pelet definidos en el capítulo anterior.

Existen muchas empresas que fabrican secadores de banda a baja temperatura, de las cuales destacamos las dos siguientes:

- Amandus Kahl Ibérica S.L. es una delegación del grupo alemán Kahl, creado en 1876, dedicada al diseño y fabricación de productos, maquinaria y plantas “llave en mano” para madera, paja, neumáticos, residuos urbanos etc.
- Swiss Combi, es una empresa de ingeniería suiza especializada en el desarrollo, construcción y realización de secadores industriales para biomasa.

- **Equipo de mezclado/acondicionado.**

El subproducto antes de ser densificado ha de pasar a través de un mezclador acondicionador donde se puede añadir o absorber vapor y asegurar la homogeneidad del subproducto, y asegurar una buena temperatura del mismo antes de su peletizado. Este equipo suele ir conjunto con la prensa, en la parte superior, ya que es la etapa anterior al peletizado.



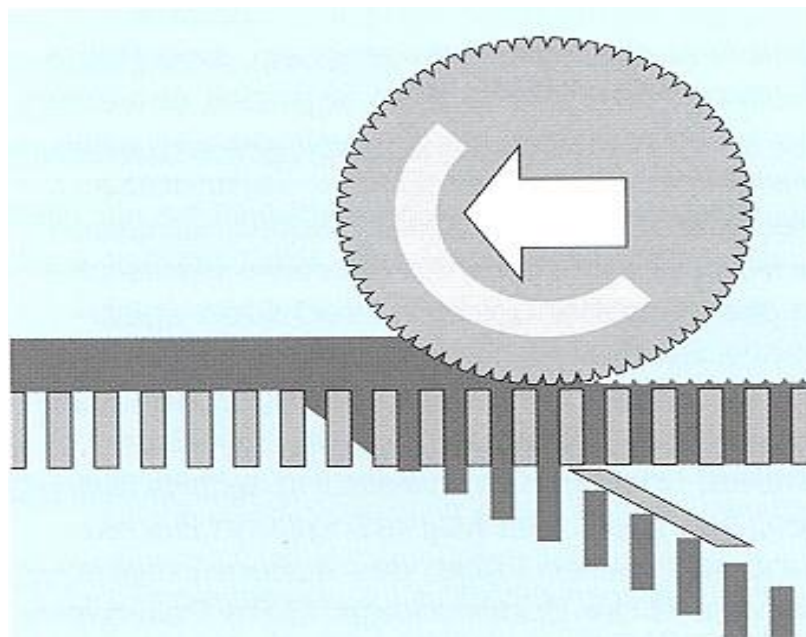
Figura 5.9. Mezclador horizontal sobre prensa. Fuente: Stolza.

- **Equipos de peletizado.**

Las herramientas más importantes en el proceso de peletización son los rodillos y las matrices.

El producto es compactado en los canales de compresión abiertos que se alojan en la matriz. El producto está alimentado en caída libre verticalmente desde arriba en la cámara de la prensa y está distribuido de manera uniforme. Los rodillos ruedan sobre la capa de producto que se forma sobre la superficie de la matriz y la compactan.

La fuerza de presión aumenta continuamente a medida que los rodillos van llevando el producto hacia el canal de compactación. La fuerza de fricción dentro del canal de compactación no debe exceder la fuerza de presión de los rodillos. Sin embargo, la fuerza de fricción debe ser capaz de producir una compactación suficiente del producto inicial a un aglomerado sólido y compacto, el pelet.



**Figura 5.10. Compactación de la capa de producto.** Fuente: Amandus Kahl.

El pelet sale del canal de compactación, ya convertido en un producto compacto gracias a la presión ejercida y las fuerzas adhesivas de la propia madera (Higinia). El pelet sale del canal de compactación en forma de cilindros que son cortados por unas cuchillas rotatorias en función de la longitud deseada.

En lo que se refiere a los rodillos, se necesita un gran diámetro exterior y un rodamiento sólido.

La distancia entre la matriz y el rodillo afecta a la calidad del pelet, al desgaste de ambas y a la demanda energética de la etapa, por tanto este parámetro es de vital importancia en el funcionamiento de la peletizadora.

Los orificios circulares de la matriz pueden estar situados o bien en el fondo del cilindro de prensado, o bien en sus paredes laterales, y por este motivo existirán peletizadoras de matriz plana y peletizadoras de matriz anular.

Las características determinantes del proceso de peletizado son los siguientes:

1. Dimensión del cilindro.

Como es evidente, la presión necesaria para alcanzar una densidad deseada se incrementa con el diámetro del cilindro, por lo que su diseño debe estar en consonancia con la potencia de la máquina.

2. Cantidad de materia comprimida. “Presión ejercida”.

Las presiones de compactación oscilan en una fuerza aplicada entre 1100 a 2500 kg/cm<sup>2</sup> dependiendo de las características de las especies de madera utilizadas. La densidad del pélet aumenta con la cantidad de material comprimido y las presiones generadas durante el proceso. La retracción del material y por tanto, la densidad del pélet será menor según aumenta la longitud del material obtenido. La energía específica necesaria no se ve influenciada por la cantidad comprimida.

3. Duración y mantenimiento de la presión.

El tiempo de aplicación de la presión es importante porque junto con la velocidad del rodillo definen la profundidad de la matriz. Está en dependencia del contenido en sustancias aglutinantes (lignina) de la materia prima. Si la materia prima tiene alto contenido en lignina, resinas o taninos, el tiempo necesario de presión es menor y por tanto la profundidad de la matriz.

4. Calor aplicado exteriormente.

La temperatura, junto con la humedad son los factores cuyos efectos sobre el proceso de densificación son más acentuados. La aplicación de calor a un material densificado confiere a éste una mayor cohesión, necesitándose una presión mínima para obtener la densidad deseada. La hipótesis que justifica la acción de la temperatura se basa en las características de las ligninas: a temperaturas comprendidas entre los 80°C y 200°C, según las materias estudiadas, la lignina se reblandece, modifica su estructura y tras su enfriamiento, asegura una mayor unión de las partículas. En este sentido la lignina es considerada como una cola termoplástica natural.

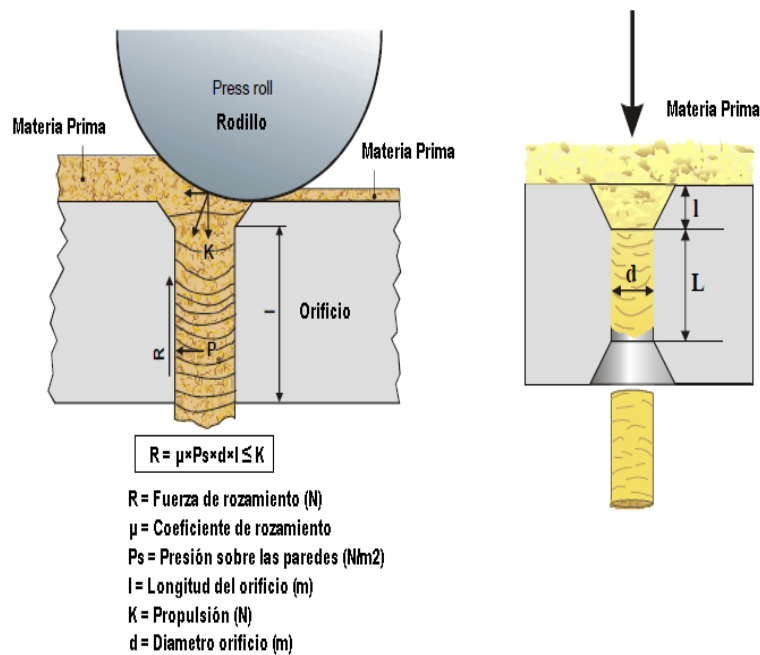


Figura 5.11. *Parámetros en el proceso de compactación.* Fuente: Wood Pellet in Finland-Technology, economy, and market.

En la actualidad existen dos tipos de prensas peletizadoras en función de la disposición de la matriz:

1. Peletizadoras de matriz plana.

En este caso, la matriz es fija y tiene la forma de un disco horizontal, mientras que los rodillos recorren la cara superior.

En muchas peletizadoras de matriz plana el material se dosifica verticalmente desde arriba a la cámara de prensado y se forma una capa sobre la matriz; los rodillos pasan sobre esta capa y la compactan. La presión aumenta continuamente, a medida que el rodillo va llevando el material hacia el canal de compactación, hasta tal punto que el material que se encuentra dentro del canal va siendo desplazado poco a poco y termina saliendo por el lado inferior de la matriz.

El número de rodillos, entre 2 y 6, depende del tamaño de la peletizadora. En algunos modelos de prensas es la matriz la que rota en torno al eje mientras los rodillos permanecen estacionarios, mientras que en otros son los rodillos los que rotan con una matriz estacionaria.

Algunas de las ventajas de este tipo de peletizadoras con respecto a las de matriz anular son su mayor facilidad de limpieza, su durabilidad y una construcción más simple tanto de la máquina como del sistema de alimentación.





Figura 5.12. *Prensas de matriz plana*. Fuente Kahl.



Figura 5.13. *Rodillos de la matriz plana*. Fuente Kahl.

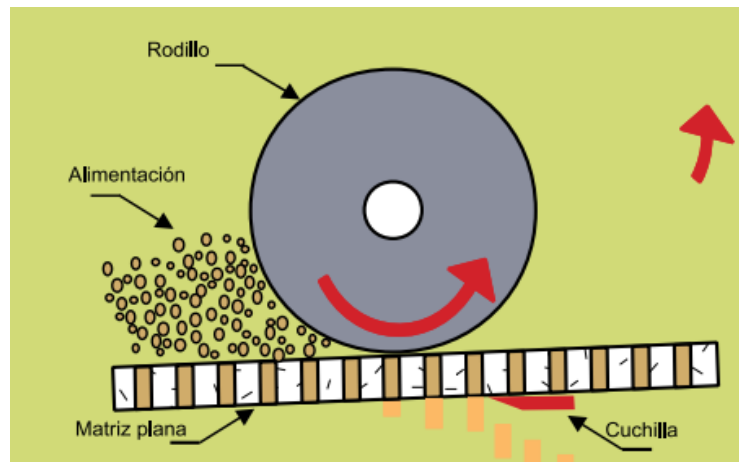


Figura 5.14. Sistema de matriz plana. Fuente: CIS-MADEIRA



Figura 5.15. Detalle de los orificios de la matriz plana. Fuente: kahl.

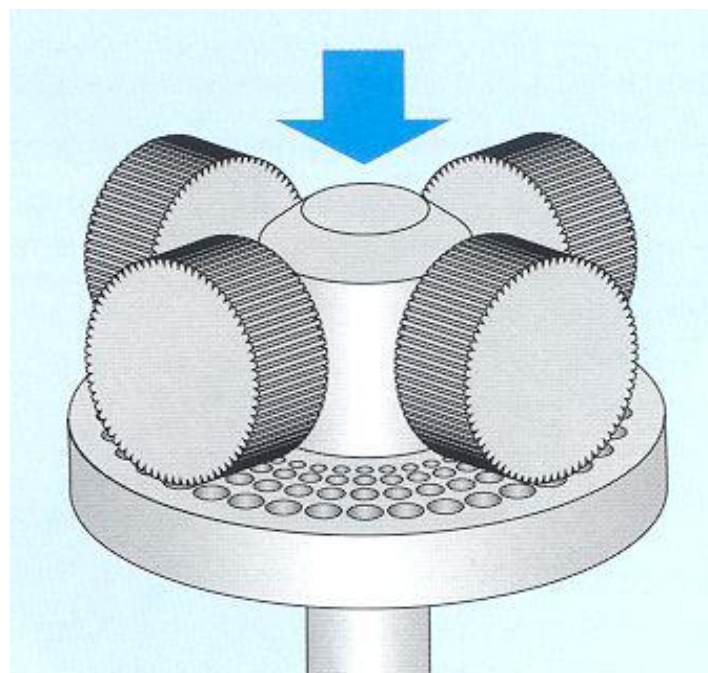


Figura 5.16. Esquema de matriz plana. Fuente: Kahl.

El principal fabricante de peletizadoras de matriz plana es:

- Amandus Kahl.

Fabricantes de maquinaria para peletización desde 1925. Muy buena calidad de equipos. Los fabricantes con precios más elevados del mercado. Desde 300 hasta 8.000 kg/h para residuos de biomasa forestal.

## 2. Peletizadora de matriz anular.

En este equipo la forma de la matriz es anular o en anillo. Dentro de este tipo de prensa existen dos variantes, en el primero la matriz anular es fija y los rodillos, también llamados discos, animados de un movimiento giratorio, empujan la materia a través de las numerosas hileras; en el segundo los rodillos son fijos y es la matriz la que gira a alta velocidad.

La mayoría de las peletizadoras de matriz anular son de construcción vertical, al igual que las de matriz plana, pudiendo igualmente ser la parte móvil los rodillos o la matriz. Además existen algunos modelos en los que los rodillos están rodando y la matriz también como consecuencia de las fuerzas de rozamiento. La fuerza de rozamiento es transmitida por el material que va a ser peletizado. A parte de esta diferencia con respecto a las peletizadoras de matriz plana, cabe destacar también que este tipo de peletizadoras presentan menor número de rodillos (de 1 a 3).

En las peletizadoras de un solo rodillo la alimentación se realiza mediante gravedad o mediante un tornillo sin fin. En los sistemas de 2 o 3 rodillos se requiere una alimentación más efectiva denominada alimentación centrífuga llevada a cabo mediante direccionamiento de la materia prima a los rodillos mediante el empleo de palas.

Las ventajas principales de este tipo de peletizadoras con respecto a las de matriz plana son su menor coste y la mayor disponibilidad de estos equipos. Existen más fabricantes de este tipo de maquinaria que de la anteriormente vista.

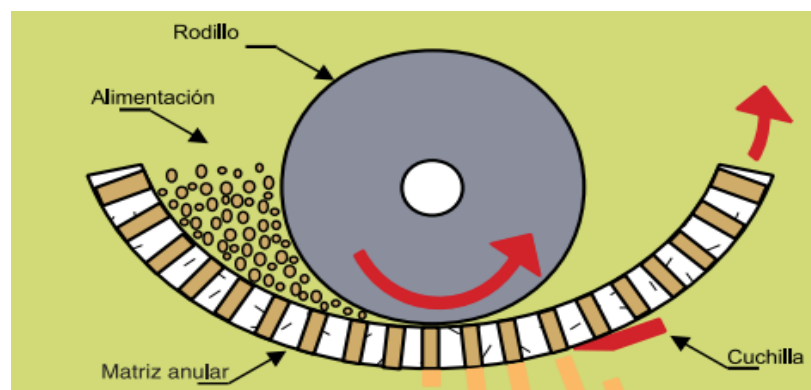


Figura 5.17. Esquema de sistema de matriz anular. Fuente: CIS-Madeira.

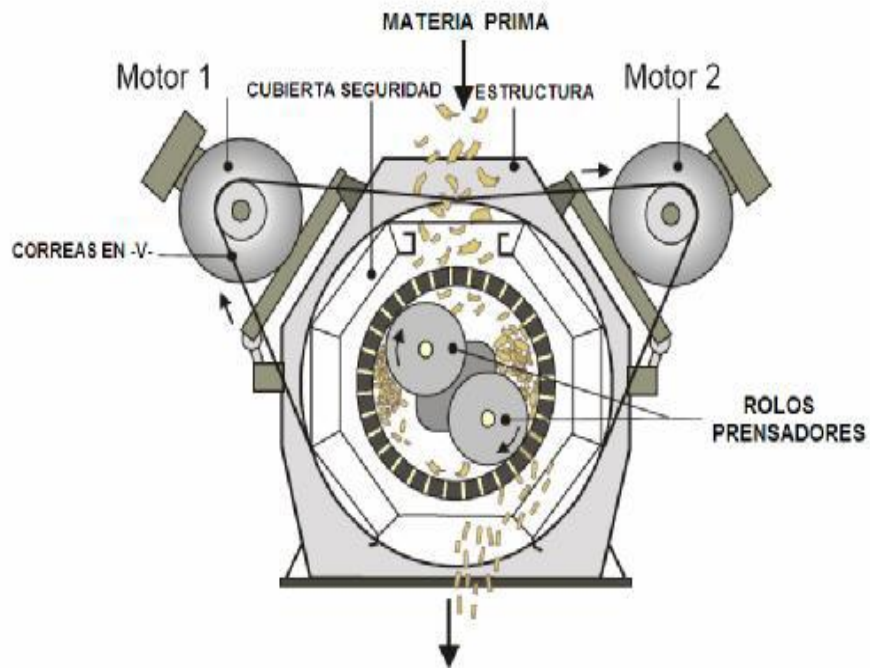


Figura 5.18. Prensa de Matriz anular. Fuente: Jornadas Forestales de Entre Ríos 2006.



Figura 5.19. Detalle de matriz anular. Fuente: Mabrik.





Figura 5.20. *Prensas de matriz anular*. Fuente: Promill Stolz.

Los principales proveedores y fabricantes de prensas de matriz anular son:

- CPM. Empresa con sede en California (EEUU) y uno de los mayores fabricantes de peletizadoras del mundo y que en España se encuentra comercializada por Molinos Afau S.L. (Empresa ubicada en Aragón).
- PROMILL STOLZ. Empresa francesa, dedicada desde hace más de 50 años al diseño y producción de equipos de granulado, molienda, peletizado etc. en prácticamente todos los tipos de biomasa.
- MABRIK S.A. Empresa Española, ubicada en Barcelona, que cuenta con experiencia en el diseño y fabricación de equipos para granulación, y que puede suministrar tanto maquinas entera, o recambios como matrices y rodillos, también realiza instalaciones complejas tipo “llave en Mano”.

- **Equipo de refrigeración.**

El pelet a la salida de la prensa, tendrá una temperatura entre los 80 y los 100 °C que hacen que el pelet sea frágil y propenso a la formación de hongos, por lo que será necesario incorporar un sistema auxiliar de enfriamiento.

El enfriamiento del pelet va a proporcionarle consistencia y dureza, características fundamentales para las etapas posteriores de envasado y transporte. Hay dos formas de realizar el enfriamiento:

1. El proceso de enfriamiento puede realizarse introduciendo aire forzado mediante ventiladores en la tolva donde los pellets caen, y es preciso dejar reposar el pelet hasta obtener las características adecuadas.
2. Enfriadores de contra flujo:

Que proporcionan una corriente de aire frío en sentido contrario a la caída del pelet para así reducir su temperatura y evitar los riesgos antes descritos. Este tipo de refrigeración es el más habitual y el que mejor resultado proporciona. El enfriador de contra flujo puede a su vez ser a su vez vertical u horizontal.

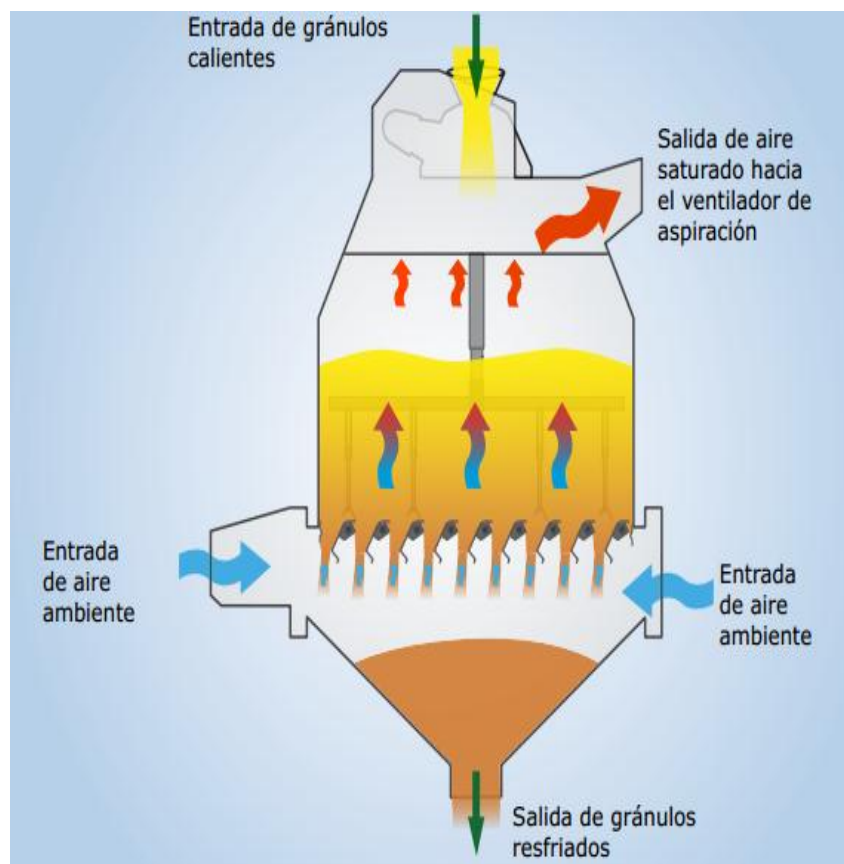


Figura 5.21. *Enfriador vertical contra flujo*. Fuente: PROMILL STOLZ.

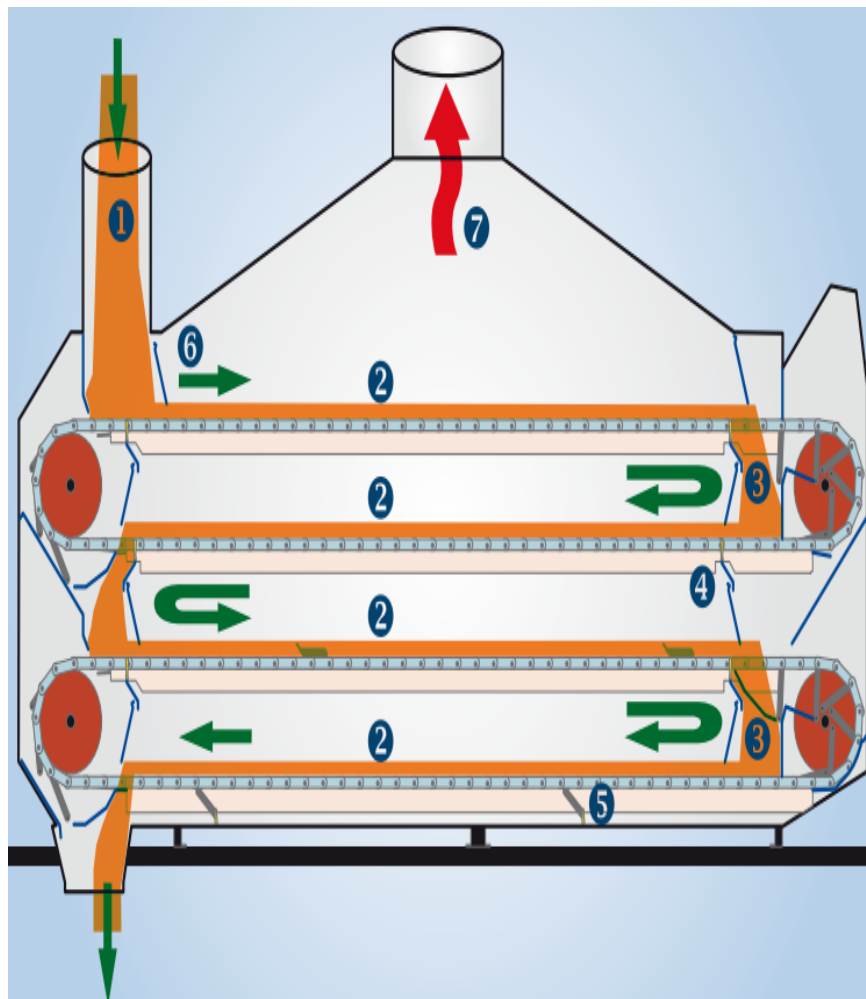


Figura 5.22. *Enfriador horizontal contra flujo.* Fuente: PROMILL STOLZ.

El funcionamiento consiste en alimentar de forma uniforme (1) y regular a toda la anchura de la bandeja transportadora (2), la cual distribuye el producto en 3 niveles. El cambio de nivel se realiza mediante un dispositivo automático (3) que asegure una capa de producto uniforme. También consta de unos paneles (4) que fuerzan al aire a pasar por la capa de gránulos, y de unos cepillos (5) que limpian el enfriador. A la entrada del gránulo (pelet) se dispone de un panel de regulación (6) que regula la altura de la capa de producto a enfriar, y de un conducto (7) para aspirar el aire caliente e ir enfriando el pelet.



- **Equipos de almacenamiento y dosificación.**

Entre fases y al inicio de las mismas, se situarán diferentes dispositivos de almacenamiento:

1. Tolva dosificadora:

- Una pala cargadora recogerá la materia prima de la zona de almacenamiento, y la cargará sobre una tolva dosificadora que irá alimentando de forma continua a la rosca o tornillo sinfín que dirigirá la materia prima hacia la criba.
- Otra tolva de dosificación previa al equipo de peletizado.

1. Silos y tolvas de almacenamiento.

Los equipos pueden sufrir averías, por lo que para evitar parar la producción, en el caso de que el equipo de una determinada fase se estropee, se colocarán silos ó tolvas de almacenamiento entre las diferentes etapas con una capacidad de un turno de producción. Estos dispositivos serán:

- Tolva de subproducto húmedo:

El residuo obtenido del aserradero contiene un 50% de humedad, y un tamaño medio de partícula de entre 8 y 10 mm. Este residuo será dirigido a la criba, aquellas partículas que no pasen la criba será dirigidos al molino de húmedo para reducir su tamaño hasta los 6 mm. Y pasarán nuevamente por la criba.

La materia prima con un tamaño de 6mm será almacenada en un silo, que denominaremos silo de húmedo, con capacidad para alimentar a la siguiente etapa o fase durante al menos un turno de trabajo (8horas).

- Tolva de subproducto fino seco:

Una vez reducido el contenido de humedad, el residuo será dirigido al molino de seco, para reducir su tamaño hasta un máximo de 3mm. Este residuo fino y seco será almacenado en una tolva que precede al peletizado, y con capacidad de alimentar a la prensa durante un turno laboral (8horas).

- Silo de producto:

Una vez peletizado, enfriado y tamizado, el pelet será almacenado en un silo antes de su envasado y almacenaje. Esto se debe a que no es conveniente envasar el pelet nada más producirlo, pues a pesar del enfriador aún sigue a más temperatura que la que debiera, y el almacenarlo en un silo, debidamente aislado, le dará más consistencia.



La otra razón, es por seguridad, en caso de que la prensa se averíe, seguiríamos teniendo producto disponible para su venta y comercialización.

Este almacenamiento del producto en silos, nos da además la ventaja de elegir o automatizar que un silo descargue sobre un transporte por cadena con el que dirigir el producto al equipo de envasado, o al camión para la distribución a granel.



**Figura 5.23. Silos de almacenamiento. Fuente: Prodesa.**



- **Equipos de transporte interno.**

El transporte entre las diferentes etapas se realizará mediante tornillo sin-fin, en horizontal o con una inclinación máxima de entre 25 y 20°C.

Para elevar el residuo y o producto a los silos, se utilizará un elevador de cangilones, y en el caso del silo de producto, que constará de un silo, se utilizará un elevador de cangilones, y el transporte de los pelets a su salida del silo se realizará mediante transporte por cadena.

En el caso del transporte del residuo seco hacia el molino, una alternativa más buena que el tornillo sinfin y que proporciona una mejor molienda del residuo, es mediante transporte neumático, pero resulta más caro.

Se utilizará también una pala cargadora para llevar el residuo recibido del aserradero, a la tolva dosificadora de la primera etapa.

También será necesario una carretilla cargadora, para la colocación y almacenamiento de los sacos de 15 Kg. en pallets.

- **Estructuras y accesorios.**

Aparte de los equipos ya definidos, serán necesarias una serie de estructuras para elevar los equipos de:

- Molienda.
- Acondicionador y peletizado.
- Enfriador vertical y tamizador.

También serán necesarias piezas de repuesto para la prensa en particular matrices, que es la pieza que más se desgasta, y rodillos.

También será necesaria la adquisición de grasa u aceite para la lubricación y correcto funcionamiento de la prensa de peletizado, evitando así su desgaste prematuro por rozamiento entre matriz y rodillo.

Tras la etapa de enfriamiento vertical, será necesario el uso de un equipo de tamizado, cuya misión será separar el producto ya compactado, el pelet, de las partículas no compactadas correctamente, como finos y partículas de polvo, siendo redirigidas a la prensa para su transformación en pelets, y minimizando así las pérdidas.

Tras cada molino se colocará una criba que limitará el paso de aquellas partículas cuyo tamaño no se haya reducido de forma correcta, siendo redirigido al molino.

- **Caldera industrial.**

Es el equipo encargado de suministrar el calor necesario al secadero de banda para poder deshidratar la madera hasta obtener la humedad necesaria.

El combustible que emplearemos para la caldera será la corteza de los árboles así como las ramas y restos de serrín y ó virutas generadas en el aserradero que no sean susceptibles de ser aprovechables para la producción de pelets.

De esta forma la planta aprovechará todo los subproductos que genere el aserradero, así como los subproductos que la propia planta de pelets cree.

En lo que a fabricantes se refiere, en este equipo nos limitaremos a un único productor, previa consulta realizada a las empresas de pelets ubicadas en España, como son Ribpellet, Pelletsasturias, etc. así como a empresas encargadas de realizar proyectos de plantas de pelet como Prodesa, y empresas de maquinaria como Stolz.

La empresa elegida es Sugimat S.L. empresa ubicada en valencia con más de 30 años de historia, y especializada, entre otros, en el diseño de equipos de combustión, así como de calderas según el combustible empleado.

La caldera de agua caliente, dispone de un hogar de parrillas móviles y un extractor de cenizas en húmedo, lo que le confiere una gran versatilidad en la utilización de combustibles de biomasa.



Figura 5.24 *Caldera industrial.* Fuente: Pelletasturias.

## 6. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE PELETIZACIÓN.

### 6.1. Dimensionamiento de la materia prima.

Tras hablar con Arturo Rica, presidente de la asociación de aserraderos de Castilla y León, y presidente de la empresa RIBSA, pudimos obtener los datos relativos a la materia prima (subproducto) generada por un aserradero “medio”, así como los datos relativos a humedad y dimensiones de los subproductos generados por el mismo.

Un aserradero produce, por lo general, 30.000 toneladas al año de madera en royo, de la cual podemos obtener:

- 1.500 toneladas de serrín.
- 17.000 m<sup>3</sup> de tabla.
- 1.5000 toneladas de corteza.
- 10.000 toneladas de astilla.

La planta genera residuos susceptibles de aprovechamiento para la elaboración de pelets, que son el serrín y las astillas, a los cuales se citará a partir de ahora como subproducto, de los cuales obtendríamos unas 11.500 toneladas al año.

También genera residuos que no son susceptibles de aprovechamiento para elaboración de pelets, pero si son susceptibles de uso en la caldera industrial que proporcionará el calor necesario al secadero de banda.

Partimos pues de 11.500 toneladas de subproducto, al 50% de humedad, que será procesado para la elaboración de pelets. Los pelets contienen un 8% de humedad, por lo que pierde el 42% de su humedad, que será un 39% en la etapa de secado y un 3% en la etapa de peletizado por lo que si planteamos las siguientes ecuaciones:

*Peso del Subproducto  $\times$  % agua eliminada = Peso que pierde tras secado*

Ecuación 6.1

Por lo que  $11.500 \times 0,39 = 4.485$  toneladas es el peso que pierdo tras el secado, por lo que me quedan  $11.500 - 4.485 = 7.015$  toneladas de subproducto.

*Luego haria  $7.015 \times 0,03 = 210,45$  toneladas que pierdo tras el peletizado*

Ecuación 6.2.

Por lo que tendría 6.804 toneladas de pelet al 8% de humedad por 11.500 toneladas de subproducto al 50% de humedad.



Con un solo aserradero podríamos producir unas 6.804 toneladas de pelets al año, sin embargo, tras hablar con empresas del sector, como “Enerpellet, Pellet Asturias, Ribpellet” no es rentable producir menos de 20.000 toneladas de pelets al año.

Las máquinas como el secadero de banda y la prensa granuladora tardan unas dos horas en encenderse y ponerse en funcionamiento, y otras dos en apagarse, por lo que la mejor opción, que es la que utilizan la mayoría de plantas, es una producción en continuo las 24 horas del día, cosa que no sería posible con una producción de 6.804 toneladas de pelets al año.

Una planta que trabaje en continuo (fuente Prodesa) trabaja entre 350 y 365 días al año, las 24 horas. En la planta, contando el mes de vacaciones ( de 30 días) durante el cual no se producirá pelets, pero si se seguirá vendiendo, utilizando para tal efecto, el producto almacenado, trabajase 337 días al año, hacemos los siguientes cálculos:

- $6.804 \text{ Toneladas} / 335 \text{ días} = 20,31 \text{ toneladas diarias.}$
- $20,31 / 24 = 0,85 \text{ toneladas de pelet por hora.}$

Las empresas de maquinaria de prensas granuladoras como CPM, PROMILL STOLZ etc. fabrican prensas de capacidad mínima de 1 tonelada la hora, por lo que las 6.804 toneladas disponibles a partir del subproducto generado por un solo aserradero seria ineficiente, pues estamos produciendo por debajo de la producción para la que ha sido diseñada la máquina.

Se plantean dos alternativas:

- Partir de las 11.500 toneladas de subproducto generadas por el propio aserradero, y comprar las 26.431 toneladas de subproducto necesarias para alcanzar una producción de 22.000 toneladas de pelets al año.
- Proponer la agrupación de 4 aserraderos con una producción media de entre 9.000 y 11.500 toneladas de subproducto con los que generar entre 21.130 y 27.218 toneladas de pelet al año.



Elegimos la 2ª alternativa para dimensionar la planta. En la siguiente tabla resumimos los datos relativos a la materia prima y a la producción esperada:

Materia prima	Antes del secado	Tras el secado y antes del peletizado	Tras el peletizado
Subproducto (astillas y serrín) y pelets	Entre 36.000 y 46.000 toneladas de subproducto anual al 50% de humedad.	Entre 21.960 y 28.060 toneladas de subproducto anual al 11% de humedad	Entre 21.130 y 27.218 toneladas de pelet anual al 8% de humedad

**Tabla 6.1. Características de humedad y cantidad de la materia prima en las diferentes etapas. Fuente: Autoría propia.**

Consideraremos que la planta produzca 335 días al año, de forma continua las 24 horas del día, por lo que con los datos definidos anteriormente, tendremos:

- Materia prima que llega al equipo de triturado/molienda.

$(36.000 \text{ ó } 46.000 \text{ toneladas anuales}) / 337 \text{ días} = (106,83 \text{ ó } 136,49) \text{ toneladas diarias}$ , que trabajando en continuo las 24 horas del día proporcionaría entre 4,45 y 5,68 toneladas/hora.

- Materia prima que llega y sale del secadero de banda.

Al secadero de banda llega el subproducto de la etapa anterior (molino) con un 50% de humedad, y sale al 11% de humedad, luego definimos:

- Entrada al secadero de banda.  
Serían las mismas que en la etapa de molienda/triturado, esto es entre 4,45 y 5,68 toneladas/hora durante 337 días al año, trabajando en continuo las 24 horas del día.
- Salida del secadero de banda.  
Entre 21.960 y 28.060 toneladas anuales, lo que proporcionaría entre 65,16 y 83,26 toneladas diarias, o lo que es lo mismo, entre 2,75 y 3,46 toneladas/hora.



- Materia prima que llega y sale de la prensa.

A la prensa llega subproducto al 11% de humedad y debido a las altas temperaturas alcanzadas en el proceso de peletización el subproducto sale al 8% de humedad.

- Entrada a la prensa.  
Serían las mismas que la salida del secadero, es decir, entre 2,75 y 3,46 toneladas/hora.
- Salidas de la prensa.  
Entre 21.130 y 27.218 toneladas anuales, lo que proporcionaría entre 62,70 y 80,76 toneladas diarias, o lo que es lo mismo, entre 2,61 y 3,36 toneladas hora.

Estos datos son para la agrupación de 4 aserraderos que si los 4 produjeran 9.000 toneladas de subproducto al año, tendríamos las 2,61 toneladas/hora y si los 4 produjeran 11.500 toneladas de subproducto al año tendríamos 3,36 toneladas/ hora.

Por lo que se propone el uso de una prensa con capacidad entre 2,5 y 3 toneladas/hora.

## 6.2. Dimensionamiento de los equipos principales.

Los equipos que hacen posible el proceso de obtención del pelet, han sido descritos en el capítulo anterior, y en este se especificarán las características y dimensiones de cada uno, en función de la materia prima de entrada y salida de cada proceso definida en el apartado anterior, así como la elección del proveedor elegido entre fabricantes especializados en maquinaria para madera y biomasa.

- Equipo de molienda/triturado:

Hacen falta dos molinos.

- Molino de húmedo:

Conociendo la humedad inicial del subproducto, se consultó a diferentes empresas de maquinaria, como Prodesa y Stolz, y se seleccionó un Molino de húmedo, de la Marca Bruks.

Molino que es capaz de trabajar con partículas con alto contenido en humedad (hasta un 80%) y que reduzca el tamaño de partícula de los 9-11 mm. con que se recibe, a 6 mm.

Se ha elegido un Molino de martillos de alta capacidad, modelo BK-HH 400X1500, que se utiliza tanto para la elaboración de tableros de partículas, como para la elaboración de pelets y briquetas. Se alimenta de serrín, virutas de madera, astillas etc. con un contenido en humedad entre el 2 y el 80%.

La alimentación se realiza por gravedad de forma vertical, y posee un sistema de alimentación que entre otras características, destaca un imán en el tambor vibrante que elimine las partículas metálicas que puedan dañar los martillos.

Este tipo de molinos tienen fácil acceso a las herramientas y piezas que más se desgastan, ya que los laterales de la máquina se abren mediante un accionamiento hidráulico, acelerando así el cambio y o reparación de las mismas, así mismo las herramientas están construidas con materiales de alta resistencia, permitiendo una larga vida del equipo así como bajos costes en mantenimiento.

Tiene una construcción sólida diseñada para un correcto funcionamiento en continuo.

La siguiente tabla muestra los datos técnicos del molino:

Abertura de entrada	(400x1500) mm.
Diámetro del rotor del martillo	1000 mm.
Longitud del rotor	1630 mm.
Velocidad rotor	1480 rpm.
Numero de martillos	213
Espesor de los martillos	12 mm.
Potencia del motor	200 a 315 KW.
Potencia del motor de la bomba hidráulica	1,5 KW.
Capacidad	2,5 a 6 toneladas/hora
Peso neto	Molino de martillos: 6.300 Kg. Sistema hidráulico: unos 170 Kg. incluyendo llenado de aceite.
Dimensiones (largo x ancho x alto)	2.400 mm. x 1700 mm. x 1650 mm.

Tabla 6.2. Datos del molino de húmedo. Fuente: Bruks.





○ Molino de seco.

Tras consultar y visitar empresas del sector, como Enerpellet, o Ribsa, se seleccionó un molino de seco de la marca Promill stolz , tipo BNB50. Cuyas características se citan a continuación:

Molino de recogida mecánica con cambio manual de rejilla en parada y con dos sentidos de rotación del rotor, el cual gira a 1500 rpm. Este molino incluye:

▪ Cámara de molienda.

Un bastidor de acero al carbono atornillado, cuatro puertas laterales aislantes, equipado de cerraduras de seguridad, permiten el acceso a las rejillas, a la cámara de molienda y al rotor.

La boca de carga centrada permite la alimentación del rotor en toda su anchura y dispone de una trampilla de accionamiento manual.

▪ Rotor.

Dinámicamente equilibrado, está constituido de un eje de acero, provisto de discos separadores, que soportan los martillos fabricados en una aleación especial de acero tratado.

El rotor gira sobre cojinetes con rodamientos de bolas, colocados en el exterior y separados de los flancos del molino.

▪ Rejilla.

Compuesta por 2 partes, está montada sobre monturas articuladas de cierre rápido.

▪ La bancada.

Una bancada rígida que soporta el molino y el motor.

▪ Los amortiguadores.

Los amortiguadores elásticos están fijados debajo de la bancada.

▪ Las sondas térmicas (un total de 2).

1 sonda por rodamiento, se encarga de controlar el calentamiento y permiten dar la alarma en caso de calentamiento excesivo.

▪ Motorización.

Motor eléctrico principal de 200 KW. y 1500 rpm. de marca EMZ ó HELMKE.

La siguiente tabla muestra las características del molino.

Cámara molienda	de 530 mm.
Martillos	Total de 32. Velocidad de 109 m/s. Dimensión de un martillo: 330 x 100 x 10 mm. Peso de un martillo: 2,24 Kg.
Rotor	Diámetro exterior: 1.384 mm. Peso: 428 Kg.
Peso	4.900 Kg.
Capacidad	6 a 7 toneladas/hora Como máximo
Potencia	200 KW.
Rejilla	Superficie útil: 1,5 m <sup>2</sup>

Tabla 6.3. Datos del molino de fino seco. Fuente: Promill-Stolz.

El siguiente esquema muestra las dimensiones del molino:

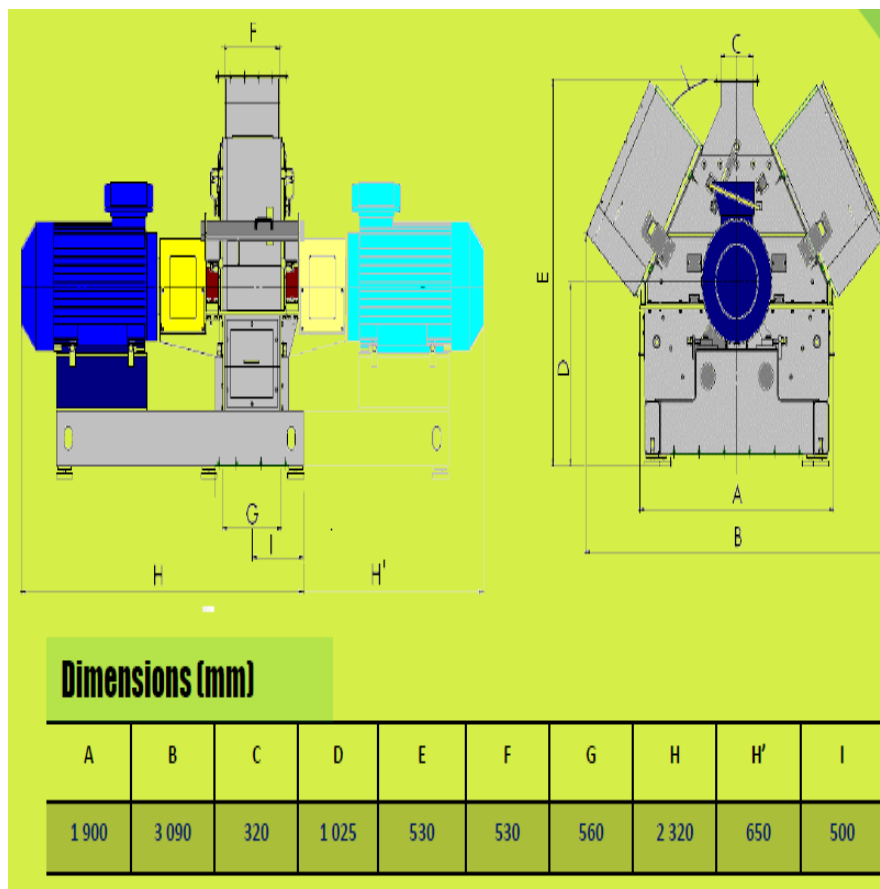


Figura 6.1. Esquema/dimensiones del molino de fino seco. Fuente: Promill-Stolz.

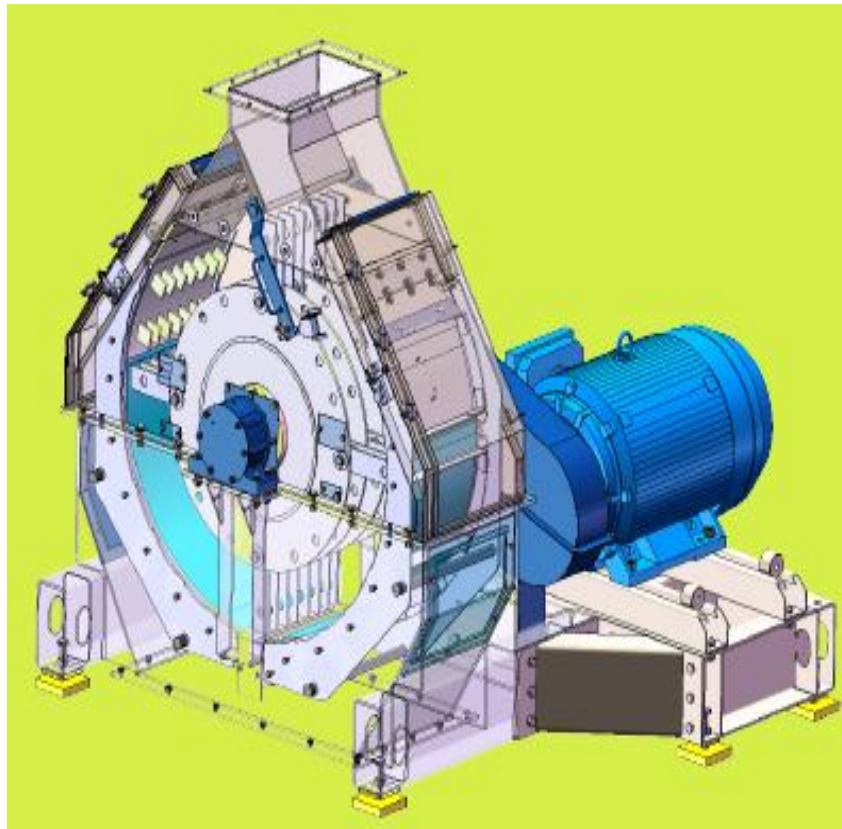


Figura 6.2. Esquema del molino de fino seco. Fuente: Promill-Stolz.

- Equipo de secado.

Como se citó en el anterior capítulo, existen dos tipos de secaderos, los secaderos de banda a baja temperatura, y los secaderos rotatorios.

Se ha seleccionado un secadero de banda, que contando con el inconveniente de ser mas caro, permite un secado más homogéneo y apto para la elaboración de pelets de gran calidad y obtener así la certificación ENPlus, y la categoría A1.

Algunas empresas, consultadas comenzaron utilizando secaderos rotatorios, y se encuentran en proceso, si no lo han hecho ya, de cambio a un secadero de banda.

La empresa Swiss Combi, es una empresa de ingeniería suiza especializada en el desarrollo, construcción y realización de secadores industriales para biomasa, y que comercializa diseño y fabrica bajo licencia en España la empresa de ingeniería Prodesa, con la cual hemos contrastado los datos de subproducto de partida, obteniendo así los siguientes datos del secadero que se precisa utilizar en función de la producción antes indicada.

Características del secado de banda:

superficie	66 m <sup>2</sup> .
Temperatura agua en los intercambiadores	105/85°C.
Humedad producto in/out	50/10%.
Flujo de producto in/out	6.300/3.500 Kg/h.
Evaporación del agua	2.800 Kg/h.
Temperatura del aire dentro del secado in/out	97/35°C.
Régimen de trabajo	Hasta 8.000 h/año.
Consumo térmico	3,02 Mwt.

Tabla 6.4. Características del secadero de banda. Fuente: Prodesa.

- Equipo de mezclado y acondicionamiento.

Se ha elegido un preparador acondicionador de la marca Promill Stolz, del tipo PEP680 cuyas características son.

- Cofre tubular en acero inoxidable.
- Rampa de inyección vapor multipunto.
- Rotor en acero tratado de paletas orientables y desmontables.
- Puerta de Roscaita con seguridad por imán codificado.
- Sonda PT100.
- Transmisión poleas correas bajo cárter.

La siguiente tabla muestra las características técnicas del equipo.

Característica	Acondicionador PEP680
Longitud	3.500 mm.
Anchura	800 mm.
Altura	1.160 mm.
Diámetro	680 mm.
Longitud útil	2.900 mm.
Velocidad	168 rpm.
Potencia	18,5 KW.

Tabla 6.5. Características del Acondicionador PEP680. Fuente: Stolz.

- Equipo de peletizado.

Tal como se citó en el anterior capítulo, existen dos tipos de prensas capaces de producir pelets, en función de su matriz, estas pueden ser prensas de matriz anular, o prensas de matriz plana.

En el mercado la mayoría de proveedores de este tipo de maquinaria, diseñan y fabrican prensas de matriz anular, como es el caso de CPM, Promill Stolz, y Mabrik, mientras que fabricantes especializados de matriz plana el más conocido es Amandus Kahl.

Se ha seleccionado una prensa de matriz anular, por su mayor disponibilidad en el mercado, y por la buena trayectoria que han demostrado en las plantas de peletización como es el caso de Enerpellet y Pelletsasturias.

Se ha elegido una prensa granuladora tipo EVOLUTION 8160 de la marca Promill Stolz con:

- Bastidor común prensa-motor.
- Motoengrasador automático.
- Seguridad mecánica por pasador de seguridad de cizalla calibrada.
- Un sistema de evacuación de la grasa usada.

La siguiente tabla muestra las características de la prensa seleccionada.

Peso	12,5 toneladas.
Dimensiones (Largo x Ancho x alto) mm.	(4.350 x 2.255 x 2.075)mm.
Rodillos pasadores	2 unidades.
Diámetro interior de la matriz	800 mm.
Superficie de la matriz	0,40 m <sup>2</sup> .
Peso matriz	550 Kg.
Potencia	250 Kw. Motor eléctrico marca EMZ ó HEMLKE
Velocidad de rotación de la matriz	91 rpm.

**Tabla 6.6. Características de la prensa granuladora EVOLUTION 8160.**

**Fuente: Promill-Stolz.**



- Enfriador vertical a contracorriente.

Se ha seleccionado un enfriador vertical a contracorriente de la marca Promill Stolz, debido a la buena trayectoria de estos equipos en plantas de peletizado, se ha seleccionado un modelo tipo RCCS 19x36.

La masa de gránulos a una temperatura entre 80 y 100 °C cae por gravedad mientras se les somete a una corriente ascendente de aire frío. El aire canalizado se utiliza desde la puesta en marcha.7incluye:

- Esclusa oscilante simple, realizada en acero inoxidable, cuyo movimiento está asegurado por un sistema de bielas accionadas por un motor reductor.
- Una campana de aspiración, realizada en acero inoxidable con una mirilla articulada y bridas de unión sobre cajón, esclusa oscilante y boquilla de aspiración para unión con el ciclón.
- Un cajón metálico en acero al carbono con puerta de acceso compuesta por una mirilla transparente y un contacto eléctrico de seguridad.
- Dos detectores de nivel permiten el funcionamiento automático del sistema de extracción, la capa de gránulos va variando según la posición dada a esos detectores (un detector de trabajo y un detector de seguridad de nivel).
- El mecanismo de extracción asegura una salida lineal de los productos. Constituye una superficie horizontal sometido a un movimiento lento de ida y vuelta, su concepción evita la rotura de los gránulos y permite el vaciado integral del enfriador. Su accionamiento está asegurado por dos cilindros neumáticos con accionamiento por electrodistribuidor monoestable dirigido por un solenoide con dos finales de carrera inductivos.
- La estructura de soporte realizada a partir de elementos atornillados, soporta también la tolva de recogida.
- La tolva de recogida de los gránulos esta echa en acero al carbono, dispone de un dispositivo estático regulable de ajuste del caudal de caída.
- Un grupo de mando que conste de:
  - Una esclusa con un motor reductor de 0,5 KW. De potencia a y una velocidad del rotor de 28 rpm.
  - Dos cilindros de vaciado con solenoide de 50 Hz, aire comprimida con presión mínima de 5 bar.

La siguiente tabla indica algunas características del enfriador.

Longitud del enfriador	1,9 m.
Ancho del enfriador	1,9 m.
Superficie de enfriamiento	3,6 m <sup>2</sup> .
Altura de los gránulos	0,9 m.
Volumen útil en m <sup>3</sup>	3,2 m <sup>3</sup>
Indicador de nivel tipo capacitivo	24/240 V AC/DC

**Tabla 6.7. Características del enfriador vertical tipo RCCS 19x 36.**

Fuente: Promill-Stolz.

- Tamizador.

Se ha elegido la marca Promill-Stolz por las mismas razones que en los anteriores equipos. Seleccionamos un modelo tipo TV2B.

Nos permite recuperar los finos de gránulos no compactados, consta de:

- Sistema de autobalanceo específico que optimiza el reparto de los productos.
- Equipo adaptado a todas las granulometrías, desde gránulos con diámetro grande hasta los productos harinosos.
- Salida de los productos acabados por caja mono o multidireccional con elemento de unión circular flexible.
- Un cuerpo del tamizador en acero suspendido por 8 hilos de acero trenzado, puesto en vibración por un motor vibrante.
- Un tamiz inclinado ribeteado sobre un bastidor metálico móvil de apriete rápido.

La siguiente tabla muestra las características del tamizador.

Capacidad	5 a 15 toneladas/hora.
Superficie de la rejilla	2 m <sup>2</sup> .
Potencia del motor	1,1 KW.
Peso en vacío	300 Kg.

**Tabla 6.8. Características del tamizador. Fuente: Promill-Stolz.**

Las siguientes figuras muestran una imagen general del tamizador, así como las dimensiones del equipo.

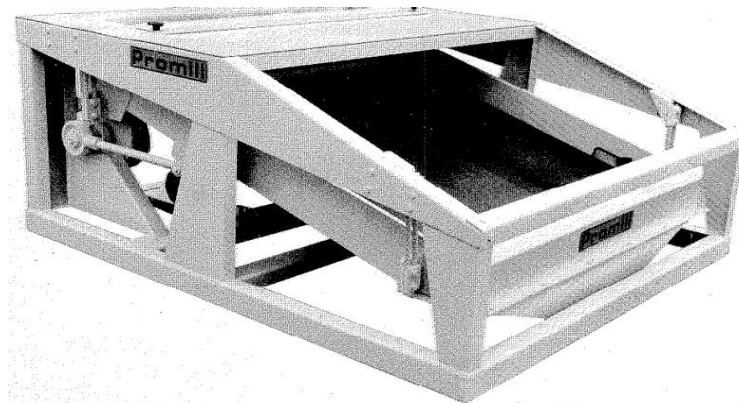


Figura 6.3. Vista general del Tamizador. Fuente: Promill-Stolz.

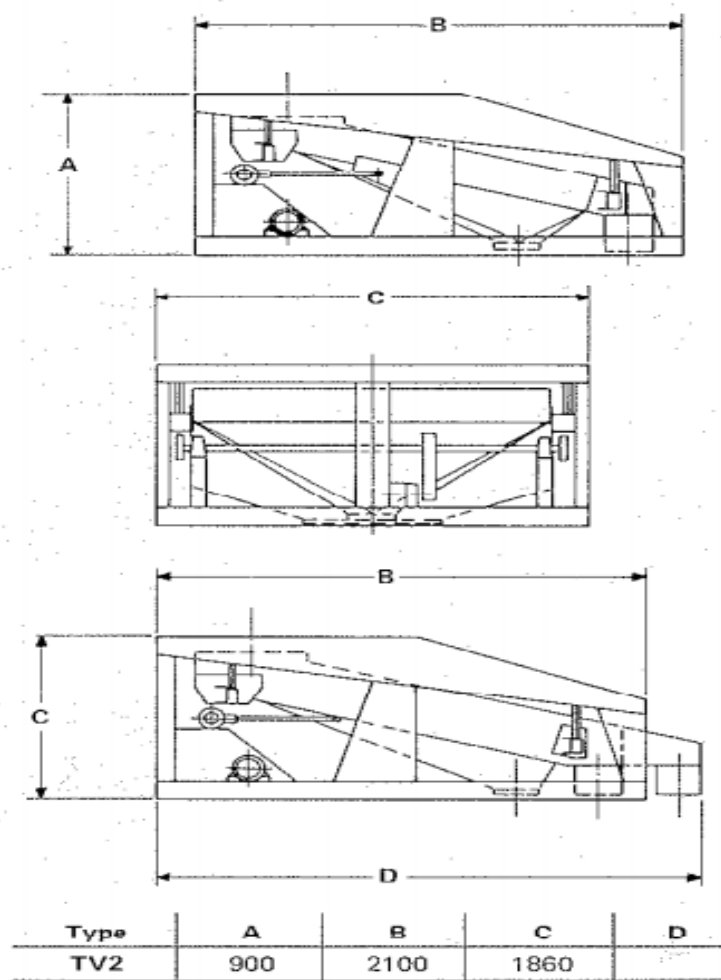


Figura 6.4. Dimensiones del tamizador. Fuente: Promill-Stolz.



### 6.3. Dimensionamiento de equipos auxiliares.

- Dimensionamiento de la caldera industrial.

Los siguientes datos han sido proporcionados por la empresa Prodesa, acorde con los datos relativos al secadero de banda antes citados.

Potencia nominal	3.000.000 Kcal/h. (3,48 Mw.)
Temperatura prevista de trabajo	105 °C de salida.
Temperatura prevista de trabajo	85 °C de entrada.
Combustible: tipo y contenido en humedad	Corteza y astilla con un contenido máximo en humedad de entre 40 y 45%.
Medio transmisor	Agua caliente
Requisitos del combustible	Libre de barnices, pinturas y elementos químicos.
Poder calorífico inferior (P.C.I.)	2.200/2.800 Kcal/Kg.
Venta	Incluye el sistema de alimentación mediante silo con piso móvil y transportador de alimentación hasta la boca de la cámara de combustión.

Tabla 6.9. Características de la caldera industrial. Fuente: Prodesa.

- Dimensionamiento de los silos y tolvas de almacenamiento.

Tienen como objetivo permitir que continúe la producción de pelets durante un turno de 8 horas en caso de que alguno de los equipos de las diferentes etapas falle.

La planta está diseñada para una producción de entre 2,5 y 3 toneladas/hora, y tomaremos una densidad media del subproducto de 450 kg/m<sup>3</sup>, así como una producción de 2,5 toneladas/hora para realizar los cálculos del volumen necesario de almacenamiento.

Serán necesarios los siguientes dispositivos de almacenamiento:

- Tolva ó silo pulmón de subproducto fino seco:

Este silo sirve de almacenamiento anterior a la etapa de peletizado.

Partiremos de una producción de 2,5 tonelada/hora de pelets en continuo, obteniendo así 20 toneladas/día.

El pelet tendrá una humedad entorno al 8%, por lo que la materia prima de la etapa anterior (antes del peletizado) contiene un 11% de humedad.



Sea  $X$  la cantidad al % de humedad que deseo obtener, en este caso al 11%, para obtener el producto final al 8% de humedad, habría que hacer:

$$X \times \% \text{ agua eliminada} = \text{Peso que pierde (PP)} \quad \text{Ecuación 6.3.}$$

De la misma forma definimos el peso final (PF), en este caso al 8% de humedad, es un dato ya conocido, y el % de agua que pierde  $X$ , que es el 3%.

Por lo que:

$$X - PP = X - (X \times 0,003) = \text{PF} \quad \text{Ecuación 6.4.}$$

En este caso tendremos:

$$X - 0,03X = 20 \text{ Toneladas}; \quad 0,97X = 20 \text{ toneladas}$$

Lo que da 20,61 toneladas necesarias de subproducto en un 8 horas al 11% de humedad, antes del peletizado, para obtener 20 toneladas de producto final (pelet) en una día con una producción de 2,5 tonelada/hora.

Conocida la densidad media de las astillas y el serrín provenientes de madera de pino, (dato proporcionado por el profesor Francisco Marcos Martín, de la ETSI Montes), en torno a  $450 \text{ Kg/m}^3$ , y conocidas las toneladas necesarias de almacenamiento, podemos calcular, el volumen requerido:

$$\rho = \frac{M}{V}; \quad V = \frac{M}{\rho} \quad \text{Ecuación 6.5.}$$

Siendo:

- $\rho$ = densidad del subproducto.
- $M$  = masa para producir pellets en 8 horas a  $\frac{2,5 \text{ tonelada}}{\text{hora}}$ .
- $V$ = Volumen requerido.

Obtenemos un volumen  $45 \text{ m}^3$ , elegimos una tolva de  $40 \text{ m}^3$ .

- Tolva de subproducto húmedo:

Este silo almacena el subproducto obtenido del molino de húmedo y con un contenido de humedad del 50%.

Utilizando las ecuaciones 6.3. y 6.2. obtenemos 32,78 toneladas necesarias, de la misma forma que antes calculamos el volumen mínimo requerido, que es  $72,85 \text{ m}^3$ , y elegimos dos tolvas de  $40 \text{ m}^3$  cada una.



- Silo producto final.

Este silo es de almacenamiento, no es un “silo pulmón” como en el caso anterior, por eso los parámetros de dimensionamiento son diferentes.

El pelet no se ensaca nada mas salir del tamizador, sino que se almacena en silos que luego distribuye el producto a la maquina ensacadora o al camión cisterna de forma automatizada.

Con los datos y ecuaciones anteriores, pero calculando almacenamiento de 6 días de producción a 3/hora, obtenemos 432 toneladas necesarias.

La densidad del pelet se exige que sea superior a  $600 \text{ Kg/m}^3$ , sin embargo la densidad utilizada para dimensionar este tipo de silos es del orden de  $850 \text{ Kg/m}^3$ , además el pelet no es “competente” con densidades inferiores a  $800 \text{ kg/m}^3$ , y se utilizará esta última densidad, para obtener un volumen mínimo necesario de  $508 \text{ m}^3$ . Tomaremos un silo de  $5000 \text{ m}^3$ .

Dicho silo consta además de patas, escaleras en techo, puerta de inspección, puerta de acceso a cilindro, pasarelas y soportes.

- Dimensionamiento del transporte interno.

Para el transporte interno se han elegido:

- Transporte neumático:

Proporciona una mejor molienda del producto fino seco y se sitúa tras el molino de fino seco y antes de la prensa. Tiene una potencia de 3 KW (Fuente: Molinos AFAU)

- Transporte mediante rosca sinfín.

Tiene una longitud media de entre 8 y 10 m. de largo (Fuente: Ribsa), y una potencia media 7,5 KW por cada rosca sinfín (Fuente: stolz).

Es el encargado de llevar la materia prima en las siguientes etapas.

- Tolva al molino de húmedo.
- Molino de húmedo a la tolva de almacenamiento de húmedo.
- De la tolva de almacenamiento de húmedo al secadero de banda.
- Del sistema neumático de transporte (tras el molino de fino seco) a la prensa.
- De la prensa al enfriador vertical y tamizador.



- Del tamizador al depósito de producto.
- Transporte mediante elevador de cangilones.

Es el transporte seleccionado para elevar verticalmente para el llenado de depósitos de almacenamiento (tolvas y silos) tanto el subproducto como el producto y hay dos:

- Elevador de cangilones de subproducto, con una potencia de 1,5 KW (Fuente: Stolz).
- Elevador de cangilones de producto, con una potencia de 3 KW (Fuente: Stolz).
- Transporte mediante cinta de cadenas.

Tiene una potencia de 7,5 KW (Fuente: Stolz) y es el encargado de transportar:

- Subproducto húmedo entre las dos tolvas de almacenamiento de húmedo.
- Producto desde el silo a la línea de ensacado y el almacén de producto a granel.
- Dimensionamiento de los almacenes.

Serán necesarios 2 almacenes principales y uno secundario:

- Un almacén donde almacenar el subproducto recibido de los aserraderos, que será apilado en dunas de entre 4 y 5 m. de largo y una superficie de unos 600 m<sup>2</sup> (Fuente: Ribsa).
- Un almacén donde almacenar el producto obtenido ensacado en bolsas de 15 Kg. que representa el 90% de la producción y colocado sobre pallets, con una superficie aproximada de 500 m<sup>2</sup> (Fuente: Stolz).
- Un almacén para los pelets destinados a granel, que representa el 10% de la producción y ocupa una superficie aproximada de 50 m<sup>2</sup>.

#### 6.4. Tabla de potencias.

Una vez definidos los equipos y características, indicamos la potencia de los equipos instalados:

Equipo	Unidades	Potencia unitaria KW	Potencia total KW
Molino de húmedo	1	315	315
Molino de fino seco	1	200	200
Acondicionador	1	18,5	18,5
Prensa	1	250	250
Enfriador vertical	1	0,5	0,5
Tamizador	1	1,1	1,1
Línea de ensacado	1	15	15
Transporte mediante rosca sinfín	6	7,5	45
Transporte neumático	1	3	3
Transporte por elevador de cangilones de subproducto	1	1,5	1,5
Transporte por elevador de cangilones de producto	1	3	3
Transportador de cadena	2	7,5	15
Total de la potencia de los equipos instalados.	867,6		

Tabla 6.10 *Potencia de equipos.* Autoría: Propia.

#### 6.5. Personal y producción.

##### 6.5.1. Introducción.

La planta de peletización se encuentra muy automatizada, y serán necesarios, como mínimo, 2 trabajadores por turno en contacto directo con el subproducto, producto y maquinaria para su correcto funcionamiento.

La metodología que se sigue en este tipo de plantas, según empresas consultadas, es la realización de turnos rotatorios. En cuanto a las características del trabajador han de ser:

- Encargado de llevar la pala cargadora, así como de utilizar la carretilla para elevar y colocar los sacos de pelets en pallets.

Ha de tener un curso de carretillero o pala, que se suele sacar en unos 20 días, y tienen una categoría de oficiales de 2ª.



- Encargado del panel y de la sala de control.

No se le exige formación específica o estudios previos específicos, pues la formación necesaria se la dará la propia empresa, y también son oficiales de 2ª.

- Administrativo.

Encargado de realizar las ventas llevar los contratos, papeles etc., un comercial.

- Gerente o ingeniero industrial:

Encargado de planificar la producción, las cuentas, así como encargarse del correcto cumplimiento de las normativas vigentes y de mantener la calidad del producto mediante los correspondientes análisis que se realizarán de forma periódica.

- Comercial.

Encargado de captar clientes, dar a conocer el producto y asignarle un valor, una marca al producto.

- También se contratará una gestoría externa para llevar los cierres de cuentas balances etc.

#### 6.5.2. Turnos y vacaciones.

- Peones.

La planta, como ya se ha citado, trabajará en continuo durante 335 días al año, lo que equivale a 3 turnos por día en producción continua para el personal que esté en contacto directo con el sistema de producción (equipos, subproducto y producto), y que a partir de ahora citaremos como peones.

Necesitaremos pues, 9 peones, contando 2 días de descanso a la semana, 2 peones por turno, que serán de 8:00 a 16:00, de 16:00 a 24:00 y de 24:00 a 8:00

- En lo que se refiere al gerente de ó ingeniero de la planta, así como a la administrativo y comercial, realizarán un único turno diario que será de 8 horas laborales.
- En lo referente al mes de vacaciones de los trabajadores, se plantean dos alternativas.
  1. Cerrar la planta durante el mes de vacaciones
  2. Contratar trabajadores sustitutos.

No es recomendable elegir la 2ª opción, pues al nuevo personal habría que enseñarles el funcionamiento del proceso y de los equipos, para solo un mes, del mismo modo no es factible contratar un ingeniero de planta solo para un mes, y tampoco es factible dejar durante un mes la planta al cargo único de los peones.

Se recomienda cerrar la fábrica durante un mes, trabajando un total de 335 días al año, aconsejándose para tal efecto, el mes de agosto ya que el objetivo de la planta es producir pelets para uso doméstico con fines de obtener energía térmica para agua caliente y climatización.

Se estima que para dicho objetivo, el mes que menos ventas se realicé, debido a las altas temperaturas que se alcancen, sea el mes de agosto.

Sin embargo, se recomienda, durante dicho mes, mantener las ventas activas, con producto que no haya sido vendido a lo largo del año.

### 6.5.3. Producción.

En el inicio de la actividad no es posible vender produciendo al 100%, puesto que existe un periodo de asentamiento en el cual se captan clientes, y se estima que hasta el transcurso de 12 meses desde el inicio de la actividad no se puede producir ni vender al 100% de la capacidad, pues habría que tener al principio todo lo producido almacenado, a la espera de su venta, y pasado el periodo de asentamiento, dicho almacén quedaría vacío casi en su totalidad.

De la misma forma, no se recomienda vender el 100% de lo producido, pues existe riesgo de rotura de stock.

Se ha estimado un periodo de asentamiento de 12 meses, para lo cual se plantea que durante los primeros 4 meses se produzca con un solo turno laboral, los siguientes 4 meses con dos turnos y los últimos 4 meses se produzca en continuo con 3 turnos por día, produciendo al 100% y con unas ventas del 95%, obteniendo así un 5% almacenado para evitar la rotura de stock.

- Primer cuatrimestre del primer año:

Con un único turno laboral, y una media de producción de 2,75 toneladas/hora, se estima una producción de 22 toneladas diarias.

Contabilizando un mes de 30 días, se estima para el primer cuatrimestre una producción de 2.640 toneladas de pelets.

- Segundo cuatrimestre del primer año:

Con dos turnos laborales y tres meses de producción, ya que como se citó en el apartado anterior, la planta no producirá durante el mes de agosto, se estima una producción diaria de 44 toneladas de pelets y de 3.960 toneladas en el segundo cuatrimestre.





- Tercer cuatrimestre del primer año:

Con tres turnos laborales, se estima una producción diaria de 66 toneladas de pelets, y de 7920 toneladas en el tercer cuatrimestre.

- Segundo año y posteriores:

Ya produciendo en continuo, contabilizando 335 días de producción, se estima una producción anual de 22.110 toneladas de pelets.

#### 6.5.4. Personal en función de la producción.

Como se citó en el apartado anterior, se emplearán, pasado ya el periodo de asentamiento, 9 peones, así como un administrativo, un comercial y un ingeniero de planta.

Conocidos los niveles de producción, será necesario el siguiente personal.

- Para el primer cuatrimestre.

Constará de un único turno laboral, de 8 horas, en el que serán necesarios 3 peones, un ingeniero de planta, un comercial y una secretaria.

- Para el segundo cuatrimestre.

Constará de dos turnos laborales, de 8 horas cada uno, en el que serán necesarios 6 peones, un ingeniero de planta, un comercial y una secretaria.

- Para el tercer cuatrimestre.

Constará de tres turnos de 8 horas cada uno, para el cual serán necesarios 9 peones, un ingeniero de planta, un comercial y un administrativo.

- Segundo año y posteriores.

Constara de tres turnos, de 8 horas cada uno, para el cual serán necesarios 9 peones, un ingeniero de planta, un comercial y un administrativo.

## 7. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA PLANTA.

### 7.1. Introducción.

El análisis de viabilidad tiene como objetivo dar a conocer:

- La inversión necesaria, para poner en marcha la planta y comenzar el proceso de producción de pelets.
- Definir el número de años (orientativo) de vida del proyecto.
- Definir el conjunto de gastos producidos durante el proceso de producción.
- Definir el cash-flow anual.
- Analizar la rentabilidad de la planta mediante diferentes métodos.
- Realizar un análisis de sensibilidad viendo como las diferentes variables pueden afectar a la rentabilidad del proyecto.

### 7.2. Inversión inicial.

Se definirán los equipos, permisos, instalaciones etc. necesarios, así como el precio de los mismos

Presupuesto:

Constará de las siguientes características, equipos e instalaciones:

- Se considerara una planta con una capacidad de producción de 2,5 a 3 toneladas/hora.
- Se dispondrá de 2 molinos para, como se citó en el capítulo anterior, evitar el desgaste prematuro de los mismos.
- Se dispondrá de 2 tolvas dosificadoras, una al comienzo del proceso y otra antes de la etapa de peletizado.
- Se dispondrá de tolvas y silos de almacenamiento de subproducto y producto por seguridad.
- Los dispositivos de almacenamiento, así como tolvas dosificadoras dispondrán de roscas de extracción de doble hélice.



El transporte interno se realiza mediante:

- Rosca sinfín entre la tolva dosificadora y el molino de húmedo.
- Rosca sinfín entre el molino de húmedo y las tolvas de almacenamiento de húmedo.
- Rosca sinfín entre las tolvas de almacenamiento de húmedo y el secadero de banda.
- Rosca sinfín entre molino de fino seco y la prensa.
- Rosca sinfín entre la prensa y el enfriador vertical y tamizador.
- Rosca sinfín entre el tamizador y el silo de producto.
- Transporte neumático entre el secadero de banda y el molino de afine

Este transporte podría realizarse mediante rosca sinfín, sin embargo el uso de transporte neumático garantiza (según empresas del sector como Stolz) una molienda más homogénea.

Las roscas disponen de longitudes entre 6 y 14 m. por lo que se estimará una longitud entre unos 8 y 10m.

- Transportador de cadena entre las tolvas de subproducto húmedo.
- Transportador de cadena entre el silo y el camión cisterna y entre silo y ensacadora.

Dicho transportador constará de dos raseras neumáticas que dosifican el producto a la línea de ensacado o al camión cisterna mediante una manga telescópica.

- Elevador de cangilones para subproducto.
- Elevador de cangilones para pelets.

Los equipos molienda, tolva, transportes y prensa se encontraran elevados mediante una serie de estructuras y armados generales.

Estos sistemas de sustentación vienen con el precio total de elevar los equipos anteriormente citados.



Además habrá que tener en cuenta lo siguientes gastos:

- El coste de montaje e instalación de maquinaria supone un 30% del total de maquinaria (fuente: Stolz.).
- El transporte de equipos se realiza mediante tráiler.
- La puesta en marcha de las máquinas la realiza un técnico, necesitando 5 días para la prensa y 2 para el resto.
- La formación del personal, así como los planos de detalle corre a cargo de Ingeniería, y supone un 4% del precio de la maquinaria (fuente: Stolz).
- Costes asociados a obra civil.
- Costes asociados a instalaciones.



La siguiente tabla nos muestra los equipos y cantidades necesarias de cada uno, así como los precios unitarios.

Concepto	Equipos	Unidades	Precio unitario €	Precio total €
Equipo de molienda.	Molino de húmedo.	1	56.803	56.803
	Molino de afinamiento.	1	43.695	43.695
Equipo de prensado.	Acondicionador.	1	20.849	20.849
	Prensa de matriz anular.	1	137.328	137.328
	Control de prensas.	1	24.000	24.000
Secadero	Secadero de banda.	1	475.000	475.000
Enfriador.	Enfriador vertical.	1	19.226	19.226
Tamizado.	Tamizador	1	11.985	11.985
Caldera.	Caldera agua caliente.	1	625.000	625.000
Ensacado	Línea ensacado.	1	87.500	87.500
Almacenamiento.	Tolva de subproducto fino seco. 40m <sup>3</sup> .	1	19.110	19.110
	Tolva de subproducto húmedo. 40 m <sup>3</sup> .	2	19.110	38.220
	Silo de producto final. 500m <sup>3</sup> .	1	31.200	31.200
	Manga telescópica de descarga.	1	11.050	11.050
Tolva.	Tolva dosificadora.	2	12.000	24.000
Descarga	Rosca de descarga de doble hélice.	6	9.100	54.600
Transporte neumático.	Filtro de mangas.	1	45.500	45.500
	Esclusa bajo filtro de mangas.	1	1.959	1.959
	Tubería entre ciclofiltro-ventilador.	1	780	780
	Ventilador centrífugo.	1	17.000	17.000
Transporte mecánico.	Rosca sinfín.	6	6.695	40.170
	Elevador de cangilones de subproducto.	2	24.000	48.000
	Elevador de cangilones de pelets.	1	14.000	14.000
	Transportador de cadena.	2	7.930	15.860
	Rasera neumática.	2	1.560	3.120
Elevación.	Estructuras/Armados.	total		15.000
Maquinaria.	Total.	Total		1.880.955

Tabla 7.1. Precios y cantidad de equipos necesarios. Fuente: Prodesa/Stolz.



Conocido el precio del total de maquinaria, definimos los siguientes gastos:

- Transporte de maquinaria.

Serán necesarios 3 tráiler (fuente: Stolz), a 1.800 € cada uno, hace un total de 5.400 € en transporte de maquinaria.

- Montaje e instalación de los equipos.

Supone un 30% del total de maquinaria, lo que hace un gasto de 564.286,5 € en montaje e instalación.

- Ingeniería.

Supone el 4% del total de maquinaria, lo que hace un total de 75.238,2 €.

- Puesta a punto de las máquinas.

5 días para la prensa y 2 días para el resto, a 1.000 € por día (fuente: Stolz) hace un total de 7.000 €.

- Obra civil.

Se estima que ronda los 420.000 € para plantas con producción de 22.100 toneladas anuales.

- Instalaciones.

Se estima que ronda los 500.000 € para plantas con producción de 22.100 toneladas.

- Permisos y licencias.

Para proyectos cuya inversión inicial supere los 3.000.000 €, se exige el pago de unas tasas cuyo valor, según lo estipulado en el Boletín Oficial de Castilla y León, publicado el martes 4 de enero de 2011, en 5.141, 85 €.

El precio total del presupuesto es de 3.458.022 €.

### Conclusión:

Se realizó otro presupuesto, partiendo de un único molino, y sin transporte neumático, sin embargo era prácticamente idéntico al presupuesto planteado, esto se debe fundamentalmente, a que para compensar la falta del segundo molino, se incrementa el número de depósitos de almacenamiento como medida de seguridad, y del mismo modo, incrementa el número de roscas de descarga de doble hélice, lo que hace que ambos presupuestos sean casi idénticos.

En lo que a maquinaria se refiere, la línea de peletizado, la caldera, el secadero, la ensacadora y las estructuras de elevación (que han de ser comunes a cualquier

presupuesto) representan 1.384.677 €, o lo que es lo mismo, el 75% del presupuesto por lo que la maquinaria fija, no sujeta a recortes, supone un % muy elevado del desembolso inicial en maquinaria.

Nos decantamos por el presupuesto planteado, ya que ofrece mayor seguridad, así como mejor calidad del producto final.

### 7.3. Análisis de ingresos y gastos.

Una vez definidas las condiciones de trabajo, así como el periodo y duración de las mismas, se van a estimar y contabilizar los gastos asociados al proceso productivo.

Estos salarios son orientativos, y queda a cargo de la empresa que explotará la planta de pelets (los 4 aserraderos) especificar el salario de cada empleado.

#### 7.3.1. Gastos asociados a personal.

- Peones.

Cobran un sueldo medio de 11 € la hora brutos, incluyendo cargas sociales, un año de 365 días laborales. Lo que hace unas 52 semanas laborales, contabilizando 5 días laborales por semana, tenemos 260 días laborales, con 3 turnos de 8 horas de trabajo cada turno, para los peones que trabajen de lunes a viernes.

Tenemos pues  $260 \times 8 = 2.080$  horas laborales, lo que hace un gasto anual por peón de 22.880 €, gastos sociales incluidos, para los peones que trabajen de lunes a viernes. Esto equivale a 1.760 € mensuales por peón que trabaje 5 días por semana (cargas incluidas).

- Administrativo.

Cobra un sueldo bruto de 20.000 € brutos al año, incluyendo cargas sociales, lo que equivale a 1.666,6 € mensuales.



- Comercial.

Cobra anualmente 20.000 € fijos, pero contabilizando variables por ventas, su sueldo bruto se estima en 25.000 brutos, incluyendo cargas sociales, lo que supone un gasto mensual de 2.083,3 €.

- Ingeniero de planta.

Cobrarán 40.000 € brutos al año,, incluyendo cargas sociales (Fuente: Instituto de Ingeniería de España), lo que supone 3.333,3 € mensuales.

- Pagas Extraordinarias.

El primer año recibirán paga extraordinaria de dos meses el ingeniero, el administrativo, el comercial y los 3 peones que comenzaron desde el principio y recibirán paga extraordinaria de un mes los 3 peones que comenzarán en el segundo cuatrimestre.

En el segundo año cobrarán paga extraordinaria todos los trabajadores.

Esto supone un gasto de unos 30.000 € anuales el primer año y 45.846 € anuales a partir del segundo año.

Resumen de gastos asociados a personal (Sin contar pagas extra):

Personal	Primer cuatrimestre del primer año	Segundo cuatrimestre del primer año	Tercer cuatrimestre del primer año	Segundo año y posteriores
Peones	3 Peones: 21.120 €	6 peones: 42.240 €	9 peones: 63.360 €	9 peones: 190.080 €
Administrativo	6.666 €	6.666 €	6.666 €	20.000 €
Comercial	8.333 €	8.333 €	8.333 €	25.000 €
Ingeniero de planta	13333,33 €	13333,33 €	13333,33 €	40.000

**Tabla 7.2. Resumen de gastos asociados a personal. Fuente: Autoría propia.**

### 7.3.2. Gastos de electricidad de maquinaria.

Tras hablar con la compañía eléctrica Iberdrola, se estima la tarifa eléctrica en instalaciones industriales en 13 céntimos de € el KW hora.

Conocida además la potencia necesaria para el proceso de fabricación (867,6 KW) definida en el capítulo anterior, se calcula el gasto en electricidad en los diferentes periodos.

- Primer cuatrimestre.

Tomando un mes de 30 días, tenemos 120 días, a 8 horas por día, lo que hace 960 horas de funcionamiento. Esto hace un total de 124,8 € en un mes y un total de 499,2 € en el primer cuatrimestre.

- Segundo cuatrimestre.

Consta de 16 horas laborales por día, por lo que tendremos un gasto al finalizar el cuatrimestre de 998,3 €.

- Tercer cuatrimestre.

Consta de 24 horas laborales por día, por lo que al finalizar el cuatrimestre tendremos un gasto de 1.497,6 €.

Tras finalizar el tercer trimestre, se estabiliza el trabajo de forma continua, lo que supondrá un gasto continuo de 374 € por mes.

Primer año 2995,1 €

Siguientes 4488 €

### 7.3.4. Gastos de conservación y mantenimiento anual.

Supone un máximo del 2% (Fuente: Stolz) del desembolso inicial en maquinaria del Presupuesto I, esto es 69.160 €.

Este gasto se concentra fundamentalmente en:

- Molino de martillos.

Es el equipo más delicado, consta de un juego de 32 martillos, y se estima que hacen falta anualmente (Fuente: Stolz) un total de 4 juegos de repuesto, con un precio total de 2.400 € (Fuente: Stolz).



- Prensa.

Se requieren dos rodillos por año, con un precio total de 5.800 €. Se requiere 3 matrices por año (Fuente: Stolz) con un precio total de 18.000 € (Fuente: Stolz).

- Lubricación.

Son necesarios 10 bidones de grasa alimenticia (Fuente: Stolz) por año para lubricar los equipos, cada bidón pesa 190 Kg. y el total de 10 bidones tiene un precio de 15.000 € (Fuente: Stolz).

- Gastos iluminación, agua, y acondicionamiento.

Supone aproximadamente un 10% del coste anual de fabricación. Con los datos citados anteriormente, suponiendo un año laboral trabajando en continuo supone en términos de personal, mantenimiento, y electricidad de maquinaria 498.315 €, por lo que estimaremos el gasto en iluminación, agua y acondicionamiento en unos 49.831,5 € anuales.

#### 7.3.5. Gastos varios.

- Gastos en gestoría y material oficina.

Según empresas del sector, entre el 2 y el 3 % de del coste de fabricación anual, esto es unos 12.457,87 €.

- Seguros.

Tras hablar con la empresa Allianz seguros, y exponerles nuestra situación, actividad y personal, se nos entregó un presupuesto anual de seguro de 2.464,06 €.

- Financiación.

Tomando el presupuesto de 3.458.000 €, a devolver en 10 años, supone un gasto anual 345.800, contando un interés anual del 7%( Fuente ICO), tendríamos un gasto anual de 587.860 € durante los 10 primeros años desde el inicio de la actividad.

- Gastos en materia prima.

Los costes de materia prima, transporte incluido, son, según fuentes del sector, de 35 € por tonelada, sin embargo al ser los aserraderos propietarios de la planta de pelets, se estimará un gasto en materia prima entorno al 75 % del costo original (fuente: Empresas del sector), esto es, 26,25 €/Tonelada.



Vamos a definir los gastos en materia prima por cuatrimestre hasta finalizar el primer año, y luego año por año.

- Primer cuatrimestre.

Disponemos anualmente de 4 aserradero con subproducto de entre 9.00000 y 11.500 (Fuente: Ribsa) tenemos una media anual de 10.250 toneladas de subproducto por aserradero, aproximadamente  $3.417 \cdot 4 = 13668$  toneladas por cuatrimestre.

Estos datos son referidos al 100% de producción, en el primer cuatrimestre tendremos un tercio de actividad, lo que hace un total de 4556 toneladas necesarias.

El gasto del primer cuatrimestre del primer año será de 119595 €.

- Segundo cuatrimestre.

Necesitamos  $2/3$  de 13668 toneladas, esto es, 9112 toneladas, lo que supone un gasto de 239190 €.

- Tercer cuatrimestre.

Necesitamos 13668 toneladas, lo que supone un gasto de 358785 €.

Necesitaremos para el primer año: 717.500 €.

Necesitaremos para el segundo año y posteriores: 1.076.250 €.

- Impuestos.

- Impuesto de sociedades

Supone el 30% de los beneficios.

La siguiente tabla nos muestra los gastos generados durante el proceso de fabricación en condiciones de producción continua y 100% de ventas.

Concepto	Primer año	Segundo año al año 10	Año 11 al 15
Personal	Nóminas: 211.720 €	Nóminas: 275.080 €	Nóminas: 275.080 €
	Pagas extraordinarias: 30.006 €	Pagas extraordinarias: 45.846 €	Pagas extraordinarias: 45.846 €
Electricidad maquinaria	2.995 €	4.488 €	4.488 €
Mantenimiento	69.160 €	69.160 €	69.160 €
Iluminación, agua, acondicionamiento	49.831 €	49.831 €	49.831 €
Gestoría y varios	12.457 €	12.457 €	12.457 €
Seguros	2.464 €	2.464 €	2.464 €
Financiación	587.860 €	587.860 €	0
Materia prima	717.500 €	1.076.250 €	1.076.250 €
Impuestos	322.441 €	623.238 €	799.597 €
Total:	2.006.436 €	2.746.676 €	2.335.174 €

**Tabla 7.3. Gastos del proceso de fabricación. Fuente: Autoría Propia.**

### 7.3.6. Ingresos.

El precio de venta de empresas o marcas conocidas es de aproximadamente 200 €/tonelada, sin embargo la planta diseñada al ser una marca nueva y desconocida, comenzará con un precio de venta de 190 €/tonelada afín de ofrecer una ventaja a los clientes y hacer que se decanten por el producto de la planta.

Durante el primer año, se ha estimado una producción definida en el capítulo anterior:

- Primer cuatrimestre.

Se estima una producción de 2.640 toneladas, que con un precio de venta de 190 €/tonelada supone un ingreso medio de 501.600 € en el primer cuatrimestre ó 125.400 €/mes.

- Segundo cuatrimestre.

Con dos turnos y 3 meses de producción, se prevé un ingreso medio de 250.800 € mensual y 752.400 € en el segundo cuatrimestre.



- Tercer cuatrimestre.

Con tres turnos, se prevé un ingreso mensual de 376.000 €/mes y un total de 1.504.800 € en el tercer cuatrimestre.

- Segundo año y posteriores.

Se prevé un ingreso anual de 4.200.900 € para una producción en continuo y 100% de ventas.

Concepto	Primer año	Segundo año y posteriores
Ingreso por venta de pelets	2.904.000 €	4.422.000 €

**Tabla 7.4. Ingresos por venta de pelets. Fuente: Autoría propia.**

#### 7.4. Análisis del flujo de caja anual (Cash-flow), del V.A.N. y del T.I.R.

Se estima un periodo de vida del proyecto en unos 15 años, durante los cuales el primer año es de asentamiento, mientras que los 14 restantes se estimarán estables en términos de producción y ventas.

- Caso I:

Se analizará el flujo de caja como beneficios después de impuestos, así como el V.A.N. y el T.I.R. considerando unas ventas del 100% y un interés del capital del 13%.

Año	Inversión	Ingresos	Gastos	Flujo de caja
0	3.458.000 €	0	0	-3.458.000
1	0	2.758.800 €	2.006.436 €	752.364 €
2	0	4.200.900 €	2.746.676 €	1.454.224 €
3	0	4.200.900 €	2.746.676 €	1.454.224 €
4	0	4.200.900 €	2.746.676 €	1.454.224 €
5	0	4.200.900 €	2.746.676 €	1.454.224 €
6	0	4.200.900 €	2.746.676 €	1.454.224 €
7	0	4.200.900 €	2.746.676 €	1.454.224 €
8	0	4.200.900 €	2.746.676 €	1.454.224 €
9	0	4.200.900 €	2.746.676 €	1.454.224 €
10	0	4.200.900 €	2.746.676 €	1.454.224 €
11	0	4.200.900 €	2.335.174 €	1.865.726 €
12	0	4.200.900 €	2.335.174 €	1.865.726 €
13	0	4.200.900 €	2.335.174 €	1.865.726 €
14	0	4.200.900 €	2.335.174 €	1.865.726 €
15	0	4.200.900 €	2.335.174 €	1.865.726 €

Tabla 7.5. Flujo de caja en caso I. Fuente: Autoría propia.

- El V.A.N. en este caso es de 5.745.000 €.
- El T.I.R. en este caso es del 37%



- Caso II:

Se analizará el flujo de caja como beneficios después de impuestos, así como el V.A.N. y el T.I.R. considerando unas ventas del 70% y un interés del capital del 13%.

Año	Inversión	Ingresos	Gastos	Flujo de caja
0	3.458.000 €	0	0	-3.458.000 €
1	0	1.931.160 €	1.758.144 €	173.016 €
2	0	2.940.630 €	2.368.595 €	572.035 €
3	0	2.940.630 €	2.368.595 €	572.035 €
4	0	2.940.630 €	2.368.595 €	572.035 €
5	0	2.940.630 €	2.368.595 €	572.035 €
6	0	2.940.630 €	2.368.595 €	572.035 €
7	0	2.940.630 €	2.368.595 €	572.035 €
8	0	2.940.630 €	2.368.595 €	572.035 €
9	0	2.940.630 €	2.368.595 €	572.035 €
10	0	2.940.630 €	2.368.595 €	572.035 €
11	0	2.940.630 €	1.957.093 €	983.537 €
12	0	2.940.630 €	1.957.093 €	983.537 €
13	0	2.940.630 €	1.957.093 €	983.537 €
14	0	2.940.630 €	1.957.093 €	983.537 €
15	0	2.940.630 €	1.957.093 €	983.537 €

Tabla 7.6. *Flujo de caja en caso II. Fuente: Autoría propia.*

- El V.A.N. en este caso es de 311.961 €.
- El T.I.R. en este caso es del 14%.

- Caso III:

Se analizará el flujo de caja como beneficios después de impuestos, así como el V.A.N. y el T.I.R. considerando unas ventas del 70%, un gasto en materia prima un 10% más cara y un interés del capital del 13%.

Año	Inversión	Ingresos	Gastos	Flujo de caja
0	3.458.000 €	0	0	0
1	0	1.931.160 €	1.808.369 €	122.791 €
2	0	2.940.630 €	2.443.933 €	496.697 €
3	0	2.940.630 €	2.443.933 €	496.697 €
4	0	2.940.630 €	2.443.933 €	496.697 €
5	0	2.940.630 €	2.443.933 €	496.697 €
6	0	2.940.630 €	2.443.933 €	496.697 €
7	0	2.940.630 €	2.443.933 €	496.697 €
8	0	2.940.630 €	2.443.933 €	496.697 €
9	0	2.940.630 €	2.443.933 €	496.697 €
10	0	2.940.630 €	2.443.933 €	496.697 €
11	0	2.940.630 €	2.032.431 €	908.199 €
12	0	2.940.630 €	2.032.431 €	908.199 €
13	0	2.940.630 €	2.032.431 €	908.199 €
14	0	2.940.630 €	2.032.431 €	908.199 €
15	0	2.940.630 €	2.032.431 €	908.199 €

**Tabla 7.7. Flujo de caja en caso III. Fuente: Autoría propia.**

- El V.A.N. en este caso es de -152.674 €.
- El T.I.R. en este caso es del 12 %.

- Caso IV:

Se analizará el flujo de caja como beneficios después de impuestos, así como el V.A.N. y el T.I.R. considerando unas ventas del 100%, dos turnos laborales de 8 horas cada uno y un interés del capital del 13%.

Año	Inversión	Ingresos	Gastos	Flujo de caja
0	3.458.000 €	0	0	0
1	0	2.257.200 €	1.757.464 €	499.736 €
2	0	2.800.600 €	2.023.717 €	776.883 €
3	0	2.800.600 €	2.023.717 €	776.883 €
4	0	2.800.600 €	2.023.717 €	776.883 €
5	0	2.800.600 €	2.023.717 €	776.883 €
6	0	2.800.600 €	2.023.717 €	776.883 €
7	0	2.800.600 €	2.023.717 €	776.883 €
8	0	2.800.600 €	2.023.717 €	776.883 €
9	0	2.800.600 €	2.023.717 €	776.883 €
10	0	2.800.600 €	2.023.717 €	776.883 €
11	0	2.800.600 €	1.612.215 €	1.118.385 €
12	0	2.800.600 €	1.612.215 €	1.118.385 €
13	0	2.800.600 €	1.612.215 €	1.118.385 €
14	0	2.800.600 €	1.612.215 €	1.118.385 €
15	0	2.800.600 €	1.612.215 €	1.118.385 €

**Tabla 7.8. Flujo de caja en caso IV. Fuente: Autoría propia.**

- El V.A.N. en este caso es de 1.743.618 €.
- El T.I.R. en este caso es del 21 %.

### 7.5. Resumen económico.

- El presupuesto asciende a una cantidad de 3.458.000 €, en el cual se incluye:
  - El total de equipos necesarios, su transporte, su instalación y puesta a punto.
  - La formación del personal así como el conjunto de planos de detalle.
  - El conjunto de permisos y licencias necesarias que exige la comunidad de Castilla y León.
  - La obra civil necesaria.
- Dicha inversión se financiará a través de un crédito concedido por el ICO, con 100% de financiación externa, y con un plazo de devolución de 10 años con un interés fijo del 7%.
- Se ha estimado que la planta permanezca activa un total de 15 años.
- Se han definido los gastos asociados a personal, luz y mantenimiento y financiación que asciende a:
  - 2.006.436 € el año 1.
  - 2.746.676 € del año 2 al año 10.
  - 2.335.174 € del año 11 al 15.
- El ingreso por ventas esperado en condiciones óptimas (100% de ventas y una producción en continuo) es el siguiente:
  - 2.758.800 € el año 1.
  - 4.200.900 € del año 2 al 15.
- Se ha definido el flujo de caja anual, analizando diferentes casos.
- Se ha analizado la rentabilidad de la planta, mediante el cálculo del V.A.N. y el T.I.R. mediante Excel, con una rentabilidad esperada del 13%, con los siguientes resultados:
  - Caso I (100% de ventas): V.A.N. de 5.745.000 €. Y T.I.R. del 37%.
  - Caso II (70% de ventas): V.A.N. de 311.961 €. Y T.I.R. del 14%.
  - Caso III (70% de ventas y materia prima un 10% más cara): V.A.N. de -152.674 €. Y un T.I.R. del 12%.
  - Caso IV (100% de ventas, con una producción de 16 horas al día): V.A.N. de 1.743.618 €. Y un T.I.R. del 21%.

## 8. Conclusión y trabajos futuros.

Una vez que se han descrito los diferentes equipos, se ha explicado el funcionamiento del proceso de fabricación, se han determinado los caudales de subproducto y producto en las diferentes etapas del proceso, se ha definido el presupuesto y se ha determinado la rentabilidad de la planta, se han cumplido los objetivos del proyecto.

Las conclusiones obtenidas son:

1. El uso de dos molinos no incrementa la inversión inicial y da más seguridad.
2. El uso de tolvas y silos de almacenamiento es un gasto importante, pero garantiza el poder seguir produciendo en caso de que alguna de las etapas ó equipos falle.
3. La producción en continuo (24 horas al día), es más rentable que producir con dos turnos al día (16 horas al día).
4. Tras analizar la rentabilidad de la planta se observa que se obtiene un TIR positivo en los casos analizados, así como un VAN positivo en los casos I, II y IV, por lo que se recomienda la inversión.

Este proyecto pretende servir como base para otros proyectos de producción de biomasa densificada que utilicen subproductos que no han de ser necesariamente madera, como es el caso de la fabricación de pellets de huesos de aceitunas.

En la actualidad las plantas de pelets más modernas, utilizan un secado de banda mediante calderas industriales de aceite térmico con la que poder generar electricidad, una tecnología también denominada ciclo orgánico Rankine (ORC).

## 9. Bibliografía.

### 9.1. Libros consultados:

- Vignote Peña, Santiago: “Tecnología de la madera”. Editorial: Mundi-Prensa. Publicación: 2006. Volumen: 687 páginas.
- Camps Michelena, Manuel: “Los Biocombustibles”. Editorial: Mundi-Prensa. Publicación: 2008. Volumen: 383 páginas.
- Marcos Martín, Francisco: “Biocombustibles sólidos de origen forestal”. Editorial: AENOR. Publicación: 2001. Volumen: 299 páginas.
- Guindeo Casasús, Antonio: “Especies de madera para carpintería, construcción y mobiliario” Editorial: Asociación de Investigación Técnica de las industrias de la Madera y Corcho. Publicación: 1997. Volumen: 740 páginas.
- Gerold Thek, Ingwald Obernberger: “The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilization of Biomass Pellets” Editorial: Earthscan Publications October 2010 Volumen: 549 páginas.

### 9.2. Recursos electrónicos:

- <http://www.stolza.com/stolz/> Marzo 2012.
- [http://www.stolza.com/sites/default/files/catalogos/es/procesos/es\\_peletizacion.pdf](http://www.stolza.com/sites/default/files/catalogos/es/procesos/es_peletizacion.pdf) Marzo 2012.
- [http://www.stolza.com/sites/default/files/catalogos/es/procesos/es\\_molienda.pdf](http://www.stolza.com/sites/default/files/catalogos/es/procesos/es_molienda.pdf) Marzo 2012.
- [http://translate.googleusercontent.com/translate\\_c?hl=es&prev=/search%3Fq%3Dbruks%26hl%3Des%26biw%3D1024%26bih%3D588%26prmd%3Dimvns&rurl=translate.google.es&sl=en&twu=1&u=http://www.bruks.com/en/Products/Size-Reduction/Hammer-Mills/&usg=ALkJrhi0aW7\\_vh\\_EZletP620epudy2RAEQ](http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=es&prev=/search%3Fq%3Dbruks%26hl%3Des%26biw%3D1024%26bih%3D588%26prmd%3Dimvns&rurl=translate.google.es&sl=en&twu=1&u=http://www.bruks.com/en/Products/Size-Reduction/Hammer-Mills/&usg=ALkJrhi0aW7_vh_EZletP620epudy2RAEQ) Marzo 2012.
- [http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/584/886/AtlasForestal\\_CastillaLeon\\_Bloque1.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-8&blobheadername1=Cache-Control&blobheadername2=Expires&blobheadername3=Site&blobheadervalue1=no-store%2Cno-cache%2Cmust-revalidate&blobheadervalue2=0&blobheadervalue3=JCYL\\_MedioAmbiente&blobnoca che=true](http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/584/886/AtlasForestal_CastillaLeon_Bloque1.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-8&blobheadername1=Cache-Control&blobheadername2=Expires&blobheadername3=Site&blobheadervalue1=no-store%2Cno-cache%2Cmust-revalidate&blobheadervalue2=0&blobheadervalue3=JCYL_MedioAmbiente&blobnoca che=true) Marzo 2012.
- <http://www.secforestales.org/web/images/infoforestal2010.pdf> Marzo 2012.
- <http://promill.fr/en/index.php> Marzo 2012.
- <http://promill.fr/fichiers/telechargement/TV-1.pdf> Marzo 2012.
- [http://promill.fr/fichiers/telechargement/gb\\_alliance.pdf](http://promill.fr/fichiers/telechargement/gb_alliance.pdf) Marzo 2012.
- [http://promill.fr/fichiers/telechargement/EVOL\\_8105\\_bois-1.pdf](http://promill.fr/fichiers/telechargement/EVOL_8105_bois-1.pdf) Marzo 2012.
- <http://www.mabrik.com/mesp/mesp.html> Marzo 2012.
- <http://www.afau.net/inicio.html> Marzo 2012.
- <http://www.prodesa.net/> Marzo 2012.
- <http://www.prodesa.net/default.asp?id=4> Marzo 2012.
- <http://www.prodesa.net/res/documentos/Visio-secado%20banda%20para%20madera.pdf> Marzo 2012.
- <http://www.prodesa.net/default.asp?id=156> Marzo 2012.
- <http://www.prodesa.net/res/documentos/Visio-secado%20directo%20con%20tromel.pdf> marzo 2012.
- <http://www.prodesa.net/default.asp?id=176> Marzo 2102.



- <http://www.akahl.es/> Marzo 2012.
- <http://www.akahl.es/prensas.html> Marzo 2012.
- [http://www.akahl.es/files/prensas\\_granuladoras\\_kahl.pdf](http://www.akahl.es/files/prensas_granuladoras_kahl.pdf) Marzo 2012.
- <http://www.idae.es/index.php/id.670/mod.pags/mem.detalle> Febrero 2012.
- [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_11227\\_PER\\_2011-2020\\_def\\_93c624ab.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11227_PER_2011-2020_def_93c624ab.pdf) Febrero 2012.
- [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_R esumen\\_PER\\_2011-2020\\_15f3dad6.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_R esumen_PER_2011-2020_15f3dad6.pdf) Febrero 2012.
- <http://www.idae.es/index.php/id.674/relcategoria.3839/mod.pags/mem.detalle> Febrero 2012.
- [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_10374\\_Energia\\_de\\_la\\_biomasa\\_07\\_b954457c.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10374_Energia_de_la_biomasa_07_b954457c.pdf) Febrero 2012.
- [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_11227\\_e5\\_empleo\\_A\\_08df7cbc.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11227_e5_empleo_A_08df7cbc.pdf) Febrero 2012.
- [http://idaeelectura.es/publicacion/229/evaluacion\\_potencial\\_energia\\_biomasa\\_herramienta\\_informatica\\_valoracion\\_recursos](http://idaeelectura.es/publicacion/229/evaluacion_potencial_energia_biomasa_herramienta_informatica_valoracion_recursos) Febrero 2012.
- [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_11227\\_e14\\_biomasa\\_A\\_8d51bf1c.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11227_e14_biomasa_A_8d51bf1c.pdf) Febrero 2012.
- <http://www.cismadeira.com/castelan/publicaciones/online.htm> Febrero 2012.
- <http://www.cismadeira.com/castelan/downloads/biomasaiii.pdf> Febrero 2012.
- <http://www.avebiom.org/> Febrero 2012.
- <http://www.apropellets.es/> Febrero 2012.

### 9.3. Revistas consultadas:

- THE BIOENERGY international. Edición español. Número 11 Abril 2011. Volumen: 55 páginas.

### 9.4. Empresas consultadas:

- Prodesa.
- Enerpellet.
- Amatex.
- Pelletsasturias.
- Ribsa-Ribpellet.
- Mabrik.
- Stolz.
- AEIM.
- Confemadera.
- Ecoforest.
- Amandus Kahl.
- Molinos Afau.
- Sugimat.